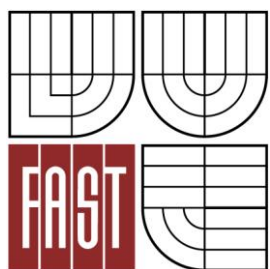




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

KOMPLEXNÍ DIAGNOSTIKA ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE

THE COMPLEX DIAGNOSTICS OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN BALAS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. JAN BALAS
Název	Komplexní diagnostika železobetonové konstrukce
Vedoucí diplomové práce	Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 31. 3. 2012	

.....
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Adámek, J., Hobst, L., Cikrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.

Schmidt, P. s kol. Základy zkušebnictví. Brno, CERM, 2001.

Tomica, V., Sokolík, A., Zemko, Š. Údržba a rekonštrukcia mostov. 1. vydání Bratislava: Svornosť, 1993.

Normy ČSN 73 6221, ČSN EN 13791, ČSN EN 12504-1,2,4, ČSN ISO 13822, ČSN 73 2011 a navazující.

Projektová dokumentace, mostní listy apod.

Zásady pro vypracování

Rešerše literatury.

Vizuální prohlídka konstrukce, popis konstrukce, zjištění a dokumentace vad a poruch.

Zpracování plánu diagnostického průzkumu.

Zjištění materiálových a rozměrových charakteristik konstrukce.

Posouzení stavu konstrukce.

Statické posouzení nosné konstrukce.

Návrh opatření na odstranění zjištěných závad a poruch.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Autor práce	Bc. JAN BALAS
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav stavebního zkušebnictví
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Název práce	Komplexní diagnostika železobetonové konstrukce
Název práce v anglickém jazyce	The Complex Diagnostics of Reinforced Concrete Construction
Typ práce	Diplomová práce
Přidělovaný titul	Ing.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	.pdf

Anotace práce	Diplomová práce se zabývá diagnostikou železobetonového trámového mostu u obce Bílčice. Cílem je provést prohlídku mostu, popsat poruchy a jejich příčiny, navrhnout a vyhodnotit diagnostické metody k získání potřebných údajů pro stanovení zatížitelnost mostu.
Anotace práce v anglickém jazyce	This thesis deals with the diagnostics reinforced concrete girder bridge near the village Bílčice. The aim is to inspect the bridge, to describe disorders and their causes, propose and evaluate diagnostic methods to obtain the necessary data for determining the load capacity bridge.
Klíčová slova	trámový most, výztuž, beton, diagnostika, poruchy, koroze, statický výpočet, zatížitelnost
Klíčová slova v anglickém jazyce	girder bridge, reinforcement, concrete, diagnostics, disorders, corrosion, structural analysis, load capacity

Bibliografická citace VŠKP

BALAS, Jan. *Komplexní diagnostika železobetonové konstrukce*. Brno, 2013. 76 s. 8 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D..

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za odborné vedení, materiály, cenné rady a připomínky, které mi při zpracování práce poskytl.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis

OBSAH

1	Úvod	11
2	Cíle	13
3	Teoretická část.....	14
3.1	Popis mostu	15
3.2	Stavební stav	18
3.3	Zatížitelnost.....	18
3.4	Diagnostika	21
3.4.1	Zkušební metody in-situ.....	21
3.4.2	Laboratorní zkušební metody.....	27
4	Praktická část.....	31
4.1	Prohlídka mostu ev. č. 46-057.....	32
4.1.1	Spodní stavba	32
4.1.2	Nosná konstrukce	34
4.1.3	Mostní ložiska a dilatační závěry	37
4.1.4	Mostní svršek	39
4.1.5	Odvodňovací systém	40
4.1.6	Území pod mostem.....	42
4.2	Návrh diagnostických metod.....	42
4.2.1	Stanovení pevnosti betonu v tlaku.....	42
4.2.2	Stanovení modulu pružnosti.....	43
4.2.3	Stanovení objemové hmotnosti	43
4.2.4	Stanovení hloubky karbonatace.....	43
4.2.5	Zjištění obsahu chloridových iontů	43
4.2.6	Ověření výztuže.....	44
4.2.7	Skladba vozovkových vrstev a desky.....	44

4.2.8	Skladba mostních podpěr	44
4.3	Použité diagnostické metody	44
4.3.1	Jádrové vývrty	44
4.3.2	Tvrdoměrné zkoušky	46
4.3.3	Radiografická kontrola výztuže	47
4.3.4	Chemická analýza betonu	48
4.3.5	Doplňkové zkoušky karbonatace	48
4.4	Výsledky zkoušek	48
4.4.1	Pevnost betonu v tlaku	48
4.4.2	Stanovení objemové hmotnosti betonu	50
4.4.3	Ověření výztuže	50
4.4.4	Chemická analýza betonu	52
4.4.5	Doplňkové zkoušky karbonatace	53
4.5	Výpočet zatížitelnosti	53
4.5.1	Geometrický model	53
4.5.2	Materiálové charakteristiky	55
4.5.3	Zatížení	55
4.5.4	Spolupůsobící šířka desky	61
4.5.5	Statický model	62
4.5.6	Stanovení mezní únosnosti průřezu	63
4.5.7	Výsledné hodnoty momentů působících na jeden trám	64
4.5.8	Dynamický součinitel δ	67
4.5.9	Výpočet zatížitelnosti	67
4.5.10	Zatížitelnost mostu	70
5	Závěr	71
6	Použitá literatura a odkazy	73
6.1	Citované zdroje	73

6.2	Seznam použitých a souvisejících norem	73
6.3	Seznam obrázků	74
6.4	Seznam tabulek	76
6.5	Seznam příloh.....	76

1 Úvod

Trvalá provozuschopnost existujících konstrukcí je velmi důležitá, neboť zástavba má významný, každoročně vzrůstající ekonomický a politický přínos. Hodnocení existujících konstrukcí je nyní významným technickým úkolem. Stavební inženýři jsou stále častěji vyzýváni k tomu, aby s přihlédnutím k omezeným nákladům navrhli způsoby, jak prodloužit životnost konstrukcí. Stanovení zásad hodnocení existujících konstrukcí je nezbytné, protože vychází z podstatně odlišného pojetí, než je navrhování nových konstrukcí a vyžaduje znalosti překračující rozsah návrhových norem. [4]

Tématem diplomové práce je komplexní diagnostika železobetonové konstrukce, konkrétně se jedná o železobetonový trámový most přes řeku Moravici, evidenční číslo 46–057. Most se nachází v Moravskoslezském kraji, okres Bruntál, mezi obcemi Bílčice a Hořejší Kunčice.

Podnětem pro diagnostiku mostu je potřeba zjištění údajů a stávajícího stavu konstrukce pro následné statické posouzení a případné zvýšení zatížitelnosti. Ta by měla být provedena mimo jiné zesílením nosné konstrukce spřaženou deskou, případně dodatečným předpětím.

Pro potřeby statického výpočtu se požaduje ověření výztuže a pevností betonu trámů, příčníků a mostovky. Dále je třeba zjistit rozsah karbonatace a obsah chloridových iontů v betonu. Zkoušky opěr se nepožadují, ale návrhy na jejich diagnostiku zde budou popsány.

Důležitými podklady pro navržení diagnostických metod a pro statický výpočet je projektová dokumentace opravy říms z roku 1992 vycházející z původní dochované projektové dokumentace z roku 1929. Jedná se o příčný řez v poli a nad podporou s rozmístěním výztuže v měřítku 1:20. Dále je k dispozici situace, příčný a podélný řez mostu a mostní list z roku 2006.

Teoretická část bude obsahovat popis mostu na základě dostupných materiálů, rozebrána zde bude problematika stanovení zatížitelnosti mostu a diagnostické metody vhodné ke zjišťování vlastností materiálů. Důraz bude kladen předně na ty, které by se daly

použít v praxi. Rozdělení je provedeno na základě místa stanovování, tedy přímo na konstrukci nebo v laboratořích.

V praktické části bude popsána diagnostická prohlídka mostu s důrazem na poruchy, jejich fotodokumentace a příčina vzniku. Následovat bude návrh diagnostických metod, rozdělení a počet zkušebních míst ke zjištění údajů pro posouzení a popsání použitých zkušebních metod s jejich vyhodnocením.

Poslední částí je statický výpočet, konkrétně stanovení zatížitelnosti mostu podle příslušných předpisů a její srovnání s údaji v mostním listu.

V závěru budou uvedeny výsledky diagnostických metod, výsledky statického výpočtu, upozornění na významné poruchy, jejich vliv na životnost a provozuschopnost, a možné způsoby jejich eliminace nebo odstranění.

2 Cíle

Hlavním cílem práce je stanovení zatížitelnosti a provozuschopnosti mostu, který úzce souvisí s prohlídkou mostu, popisem a fotodokumentací jeho poruch, návrhem nejideálnějších diagnostických metod, jejich vyhodnocením a stanovením materiálových vlastností (betonu a betonářské výztuže).

Dalším cílem je posouzení vnějších vrstev betonu na hloubku karbonatace a obsah chloridových iontů. Z těchto údajů pak posouzení vlivu prostředí na korozi betonářské výztuže.

3 Teoretická část

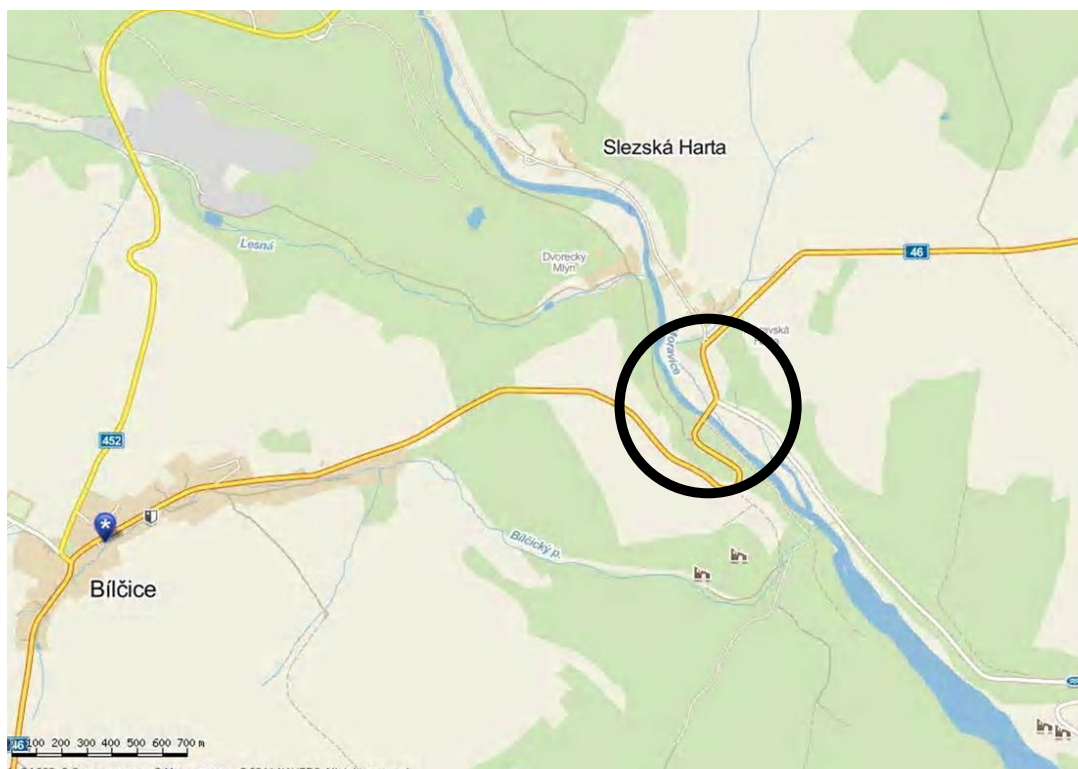
Základním obsahem teoretické části bude podrobný popis mostu, zejména rozměry, uložení, statické působení, stáří a opravy. Tyto údaje budou vycházet především z výše zmíněných dostupných zdrojů.

Uveden zde bude také stavební stav mostu a jeho popis podle ČSN 73 6221 a problematika zatížitelnosti mostů podle ČSN 73 6222 a TP 200.

Další náplní bude popsání diagnostických metod vhodných ke zjištění vlastností materiálů i celé konstrukce železobetonové trémové konstrukce.

3.1 Popis mostu

Předmětem diagnostiky je most ev.č. 46-057 na silnici I. třídy přes řeku Moravici spojující obce Bílčice a Hořejší Kunčice v okrese Bruntál, Moravskoslezský kraj. Most byl postaven roku 1930, tedy stáří přes 80 let.



Obr. 1: Mapa se zakreslením mostu, Zdroj:

http://www.mapy.cz/#q=b%25C3%25ADl%25C4%258Dice&t=s&x=17.606966&y=49.874675&z=13&d=muni_4771_1

V roce 1992 proběhla oprava mostních říms, které byly původně monoliticky spojeny s nosnou konstrukcí. Byly nahrazeny obrubníky ze strany vozovky a prefabrikovanými železobetonovými dílci z vnější strany, vzniklá plocha je vybetonována. Také zde byla osazena nová zábradlní svodidla. Povrchově byly opraveny také krajní trámy, pravděpodobně kvůli ochraně korodující výztuže, nebo pouze z estetických důvodů.

Nosná konstrukce

Jedná se o trámový most o třech polích, krajní pole mají rozpětí 19,67 m, střední pole 23,25 m. Délka nosné konstrukce je 63,20 m, rozpětí mostu 62,60 m a délka přemostění 61,70 m. Volná šířka 6,60 m, šířka nosné konstrukce 7,70 m, která se skládá z 5 ks spojitých trámů 400 x 1050 mm s náběhy u podpěr délky 3,935 m v krajních polích a 3,350 m v poli vnitřním. Trámy jsou ztuženy 14 ks příčníků 200 x 950 mm ve

vzdálenostech 3,87 m v krajních polích, 3,25 m v poli středním, 2 ks koncových příčníků 400 x 1350 mm a 2 ks příčníků nad podpěrami 500 x 2050 mm (Obr. 2). Tloušťka železobetonové mostovkové desky je 150 mm. Stavební výška 2,42 m, úložná výška 2,77 m. Plocha nosné konstrukce je 510,3 m². Most je kolmý.



Obr. 2: Členění nosné konstrukce v poli č. 2 a podpěra č. 2

Mostní svršek

Původní vozovkové vrstvy tvořila dlažba z kamenných kostek uložených do pískového lože, následoval asfaltový izolační pás, podkladní spádový beton a železobetonová deska nosné konstrukce. Tato skladba byla nahrazena v obrusné vrstvě asfaltobetonem ABH tloušťky 50 mm, v ložní vrstvě asfaltobetonem ABJ tloušťky 50 mm, izolací tloušťky 10 mm a podkladním betonem B 25 s penetračním nátěrem tloušťky 30 – 107 mm. Příčný sklon je střešovitý, a to 2 %. Chodníky zde nejsou.



Obr. 3: Pohled na mostní svršek

Mostní závěry

Typ ani další údaje o mostních závěrech nejsou známy z žádného dostupného podkladu. Popsána budou v praktické části práce.

Uložení

Svislé i vodorovné zatížení je z nosné konstrukce do spodní stavby přenášeno přes příčníky celkem 20 ocelovými ložisky. Na první, třetí a čtvrté podpěře jsou pohyblivá ložiska, po pěti kusech na každé. Na druhé podpěře je pět kusů ložisek pevných.

Spodní stavba

Tvoří ji dvě krajní betonové opěry s kamenným obkladem délky 8,45 m, tloušťky 1,40 m a dvě mezilehlé rovněž betonové podpěry délky 9,36 m, tloušťky 1,55 m. Výška mostu je 6,77 m nad terénem.

Mostní vybavení

Funkci záchytného bezpečnostního zařízení zde plní ocelové zábradelní svodidlo po obou stranách mostu. Odvodnění je řešeno vpustěmi asi po 5 metrech se svody ústícími do potrubí průměru 150 mm, které odvádí vodu do vsakovací jámy mezi třetí a čtvrtou podpěrrou.

3.2 Stavební stav

Dle mostního listu je stavební stav jak spodní stavby, tak nosné konstrukce klasifikován stupněm **4**, tedy **uspokojivý**.

Tato klasifikace vychází z normy ČSN 73 6221, která rozděluje stav konstrukce do sedmi stupňů. Čtvrtý stupeň je slovně definován tak, že vady a poruchy nemají okamžitý nepříznivý vliv na zatížitelnost, ale v budoucnu ji mohou ovlivnit. Zde se především jedná o obnažení a korozi výztuže trámů, korodující výztuž v místech uložení, korodující ocelová ložiska, zakořeněná vegetace mezi vozovkou a mostními římsami a nejspíš nefunkční mostní závěry zalité asfaltem.

Klasifikačnímu stupně také podle ČSN 73 6221 přísluší součinitel zatížitelnosti α . Ten má pro stupeň 4 hodnotu $\alpha = 0,8$.

3.3 Zatížitelnost

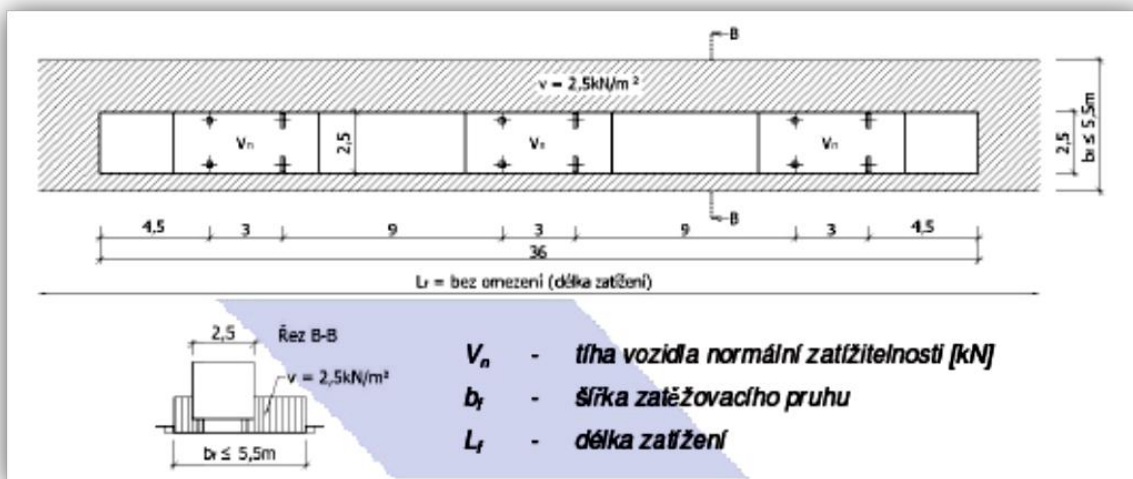
Zatížitelnost byla stanovena podrobným statickým výpočtem v roce 1993 s těmito výsledky:

- a) normální – 25 tun
- b) výhradní – 46 tun
- c) výjimečná – 120 tun

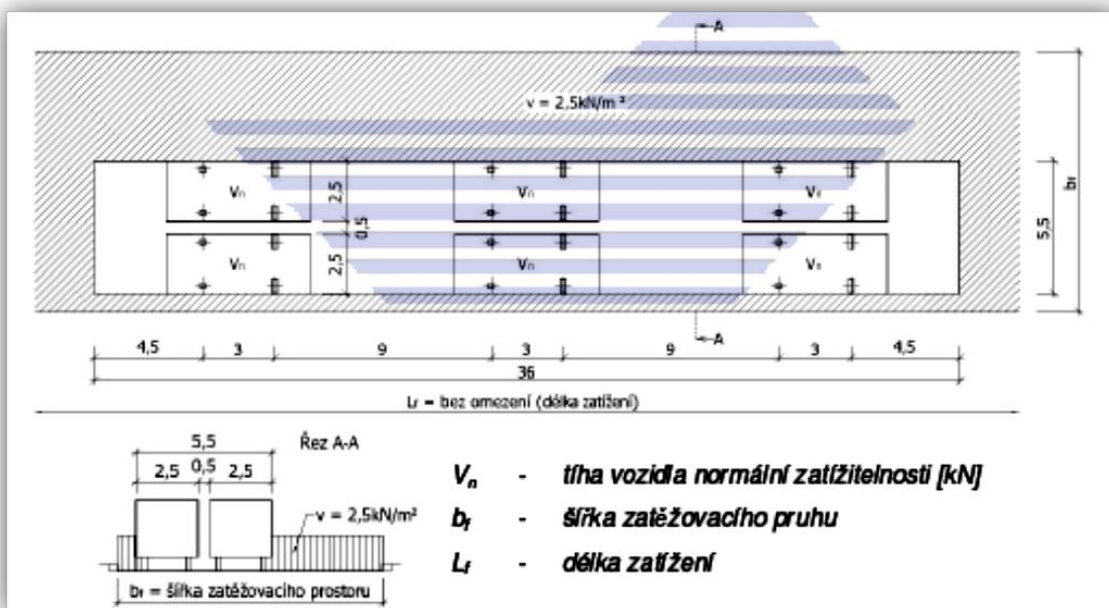
Normální zatížitelnost V_n

Maximální možná hmotnost jednoho vozidla při normálním svislém pohyblivém zatížení, které je dáno seskupením zatížení I (Obr. 4) a seskupením zatížení II (Obr. 5). Jednotlivé vozidlo V_n se uvažuje dvounápravové (Obr. 6). Při výpočtu je možno nahradit

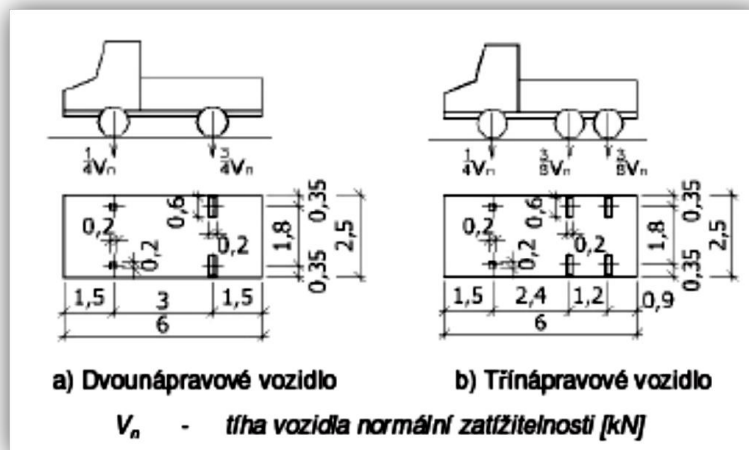
zadní nápravu dvounápravou a uvažovat třínápravové vozidlo, pokud tíha vozidla vyjde větší, než 16 t. Normální zatížitelnost vyjadřuje největší okamžitou hmotnost vozidla, které se po mostě může pohybovat bez dalších dopravních omezení.



Obr. 4: Seskupení I, $2.5 \text{ m} < b_f < 5.5 \text{ m}$, Zdroj: *Technické podmínky TP 200*, strana 31



Obr. 5: Seskupení I, $b_f > 5.5 \text{ m}$, Zdroj: *Technické podmínky TP 200*, strana 31



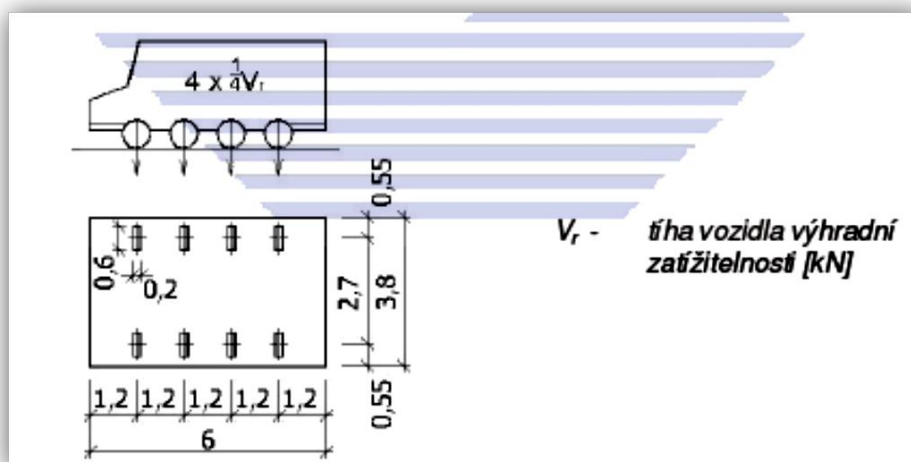
Obr. 6: Schéma vozidel normální (výhradní) zatížitelnosti, Zdroj: *Technické podmínky TP 200, strana 32*

Výhradní zatížitelnost V_r

Největší okamžitá celková hmotnost vozidla, které se na mostě pohybuje jako jediné. Stanoví se jako maximální přípustná hmotnost jednoho čtyřnápravového vozidla (Obr. 7) když:

- je rozpětí podélného prvku konstrukce delší než 10 m
- rozpětí podélného prvku konstrukce je menší než 10 m a maximální hmotnost předepsaného vozidla vyjde větší než 50 tun

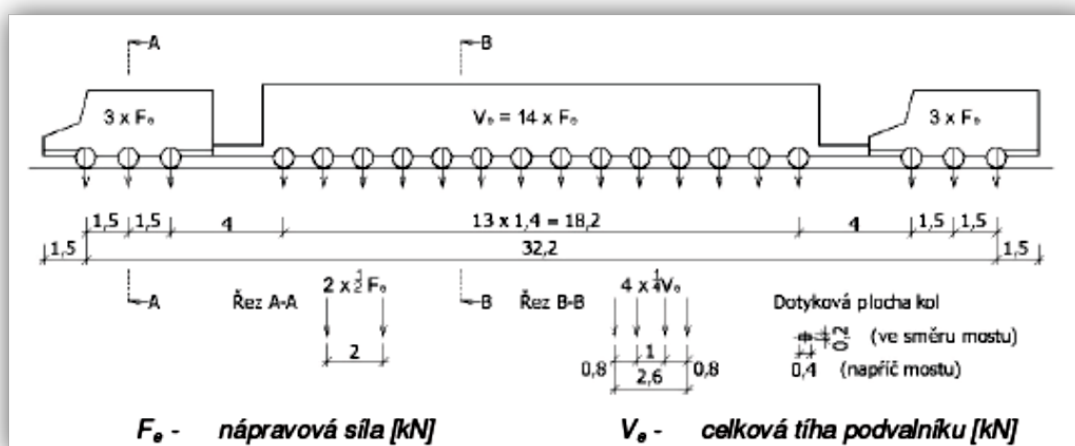
V ostatních případech se stanoví jako maximální přípustná hmotnost jediného dvounápravového vozidla (Obr. 6), ale pokud vyjde hmotnost tohoto vozidla větší než 16 tun, pak se stanoví na třínápravovém vozidle.



Obr. 7: Zatěžovací schéma čtyřnápravového vozidla, Zdroj: *Technické podmínky TP 200, strana 32*

Výjimečná zatížitelnost V_e

Udává maximální možnou hmotnost čtrnáctinápravového podvalníku s jedním třinápravovým tahačem vpředu a jedním vzadu (Obr. 8). Šířka soupravy je 3,0 m, celková délka 35,2 m. Jedná se o mimořádně těžké náklady, které mají při průjezdu mostem stanovenou přesnou dráhu pohybu, zpravidla je to osa mostu. Pěší provoz i veškerá ostatní doprava jsou vyloučeny. Nápravové tlaky nesmí současně překročit 1/14 výjimečné zatížitelnosti.



Obr. 8: Zatěžovací schéma soupravy při výjimečném zatížení, Zdroj: *Technické podmínky TP 200, strana 33*

3.4 Diagnostika

Tato kapitola se bude zabývat popisem zkušebních metod vhodných ke zjišťování materiálových vlastností (převážně betonu), rozmístění a specifikace výztužných prvků, skladbu konstrukčních vrstev a chování celé konstrukce.

V následujícím textu budou metody rozděleny podle toho, kde se provádějí. Jedná se tedy u metody prováděné in situ, tedy přímo na konstrukci a metody prováděné poté v laboratořích.

3.4.1 Zkušební metody in-situ

Jedná se především o tvrdoměrné metody, s nimi související jádrové vývrty, elektromagnetická měření, radiografie, tenzometrická měření a zatěžovací zkoušky.

Tvrdoměrné metody

Tvrdoměrné zkoušky patří mezi nedestruktivní zkušební metody, kterými se odrazovou metodou zjišťuje **tvrdost** betonu a ta se využívá zejména ke stanovení jeho stejnorodosti. Při vhodné korelaci lze tuto metodu použít k **odhadu tlakové pevnosti** uloženého betonu.

Na betonové konstrukce se ke zkoušce používají *Schmidtovy tvrdoměry typu N*, pro masivnější konstrukce *typ M*.

Podle normy ČSN EN 12504-2 se při výběru zkušebních ploch musí vzít v úvahu pevnost a druh betonu, druh a vlhkost povrchu, karbonatace, posun betonu při zkoušce, směr zkoušky a jiné okolnosti. Zkušební plocha má mít přibližně 300 mm x 300 mm. Příprava a postup zkoušky je popsán v normě.

Minimální počet zkušebních míst podle objemu betonu konstrukce a podle velikosti záměsi je uveden v následující tabulce.

Objem betonu konstrukce v m ³	Minimální počet zkušebních míst <i>n</i> při předpokládané velikosti záměsi betonové směsi v m ³					
	0,06	0,30	0,60	1,00	3,00	6,00
1	16	16	16	16	16	16
2	24	16	16	16	16	16
5	39	16	16	16	16	16
10	52	24	16	16	16	16
20	64	35	24	16	16	16
50	72	52	39	31	16	16
100	72	64	52	44	24	16
200	72	70	64	53	35	24
500	72	72	72	68	53	39
700	72	72	72	71	58	45
1000	72	72	72	72	64	52
2000	72	72	72	72	70	64
4000 a více	72	72	72	72	72	70

Tab. 1: Minimální počet zkušebních míst podle objemu betonu konstrukce, Zdroj: *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky, strana 28*

Výsledkem zkoušky je střední hodnota ze všech čtení, při jejichž případné úpravě se bere v úvahu směr působení tvrdoměru podle pokynu výrobce, a vyjádří se jako celé

číslo. Jestliže více než 20 % všech čtení se liší od střední hodnoty o více než 6 jednotek, pak celá sada čtení musí být zamítnuta. [2]

Jádrové vývrty

Jedná se o semidestruktivní diagnostickou metodu prováděnou vrtačkou s dutými válci opatřenými na konci tvrdokovovými, případně diamantovými břity. Základní těleso má průměr 150 mm, v praxi se ale většinou odebírají tělesa průměru 100 mm. Norma ČSN EN 12504-1 ovšem povoluje i jádrové vývrty průměru 50 mm a dokonce i 25 mm, což se však obecně nedoporučuje. Vrtání je chlazeno vodou. Takto provedené vývrty mohou jednoduše odhalit celkovou tloušťku prvku a všechny vrstvy přesně tak, jak jsou uloženy ve skutečnosti.

Odběr vývrtů, vyšetření a úprava vývrtů se řídí normou ČSN EN 12504-1.

Nevýhodou vývrtů je poškození stávajících izolačních vrstev, které tak zcela ztrácí svou funkci. Pokud je ovšem například z vizuální prohlídky patrné, že izolace nefunguje, jeví se tato metoda jako velmi užitečná.

Z jádrových vývrtů lze dalšími zkouškami (kapitola 3.4.2) stanovit především pevnost betonu v tlaku, objemovou hmotnost a modul pružnosti betonu. Tyto hodnoty jsou důležité pro statický výpočet. Dále se zjišťuje obsah chloridových iontů a hloubka karbonatace.

Vzorky se odebírají z míst, kde byly předtím provedeny nedestruktivní zkoušky. Místa pro odběr vzorků se volí tak, aby byla rozmístěna rovnoměrně a reprezentovala oblast nejlepší, průměrné a nejhorší kvality betonu a aby byla z oblasti prostého nebo málo vyztuženého betonu. [4]

Počet zkušebních těles závisí od účelu zkoušek, velikosti konstrukce a případně stejnorodosti betonu. Na upřesnění nedestruktivních zkoušek (zhotovení porovnávacích těles) se musí odebrat **nejméně 9** vzorků. V případě, že je odběr vzorků pro upřesnění proveden až po vyhodnocení nedestruktivních zkoušek na místech s nejmenším průměrnou a největší pevností v tlaku, připouští norma ČSN 73 2011 odběr **pouze 3** vývrtů. Ze zkušeností Ústavu stavebního zkušebnictví však vyplývá, že součinitel upřesnění vypočtený pouze ze tří dvojic pevností může být značně zkreslený zejména v případě, kdy tvrdost povrchové vrstvy není přímo úměrná pevnosti betonu v tlaku. [4]

Elektromagnetické indukční metody

Zatímco předešlé metody se zabývaly vlastnostmi betonu, metody elektromagnetické slouží k ověření nebo **zjištění polohy, množství, případně profilu betonářské výztuže**. Řadí se mezi nedestruktivní zkušební metody.

Indikátory výztuže využívají jevu feromagnetické indukce nebo vířivých proudů, které při přiblížení sondy k výztuži způsobují změnu charakteristik magnetického pole. Používají se především díky své rychlosti a jednoduchosti, nevýhody vyplývají z omezených možností používaných přístrojů.

Úspěšně se dají použít při zjištění, zda jde o beton prostý nebo vyztužený, dosah se pohybuje okolo 200 mm. Dále pak při stanovení přesné polohy výztuže, novější přístroje dokážou určit i průměr vložek. Úspěšnost metody roste s klesajícím krytím a dostatečnými vzdálenostmi prutů. S tím také souvisí určení tloušťky krycí vrstvy, poměrně přesně od 2 mm do 60 mm.

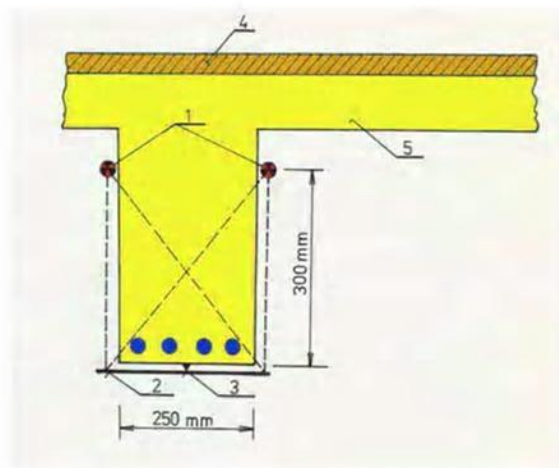
Indikátory výztuže mají ale svá omezení. Nemohou určit počet vrstev výztuže nad sebou nebo při malých vzdálenostech ani vedle sebe. Nemohou také určit druh, míru koroze ani stav výztuže. Přesto všechno se jedná o účinné a často užívané metody.

Radiografie

Pro přesnější **určení výztuže**, tedy zjištění přesné polohy, množství i typu, se používají radiografické metody, také řazený mezi nedestruktivní.

Radiační metody jako takové využívají vlastností ionizujícího záření (rentgenového nebo gama záření), které je při průchodu materiálem zeslabováno. Míra zeslabení závisí na velikosti hustoty toku záření, energii záření, objemové hmotnosti, tloušťce a chemickém složení prozařovaného materiálu.

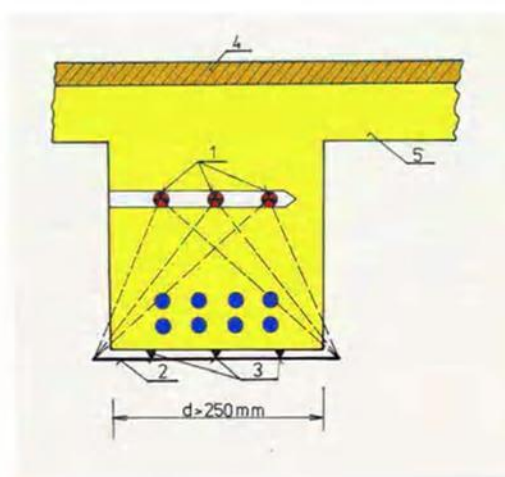
U trámových konstrukcí se přesné uložení a profil výztuže stanoví stereoskopickým snímkováním kontrolovaných průřezů postupně ze dvou ohnisek (Obr. 9), vzájemně vzdálených přibližně 200 mm.



- 1) ohnisko zářiče
- 2) radiografický film
- 3) olověná fixační značka
- 4) konstrukce vozovky
- 5) nosná konstrukce

Obr. 9: Snímkování trámu do šířky 250 mm, Zdroj: *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky, strana 97*

Při větších šířkách kontrolovaných trámů (nad 250 mm) se zářič umístí do vrtů uvnitř trámu (Obr. 10) tak, aby jejich vzdálenost byla opět cca 200 mm. Takto se dají kontrolovat trámy o libovolné šířce.



- 1) ohnisko zářiče umístění ve vrtu
- 2) radiografický film
- 3) olověná fixační značka
- 4) konstrukce vozovky
- 5) nosná konstrukce

Obr. 10: Snímkování trámu šířky nad 250 mm, Zdroj: *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky, strana 97*

Úprava povrchu před zkoušením

- a) Před započítím prozařování se musí z blízkosti zkoušeného místa a s povrchu odstranit všechno, co by mohlo rušit obraz radiogramu a vést k jeho mylnému vyhodnocení.
- b) Zkouška prozařováním má předcházet vizuální prohlídka a kontrola povrchových vad.
- c) Od zkoušky prozařováním se upustí v případě výskytu nepřípustných chyb odhalených vizuální prohlídkou. [1]

Radiogramy a zkoušená místa je třeba řádně označit, aby je bylo možno vždy jednoznačně určit. Hodnoty jako vzdálenost filmu a zářiče, zčernání radiogramů, volba zářiče a další jsou popsány ve výše zmíněné normě ČSN 73 1376.

Sekané sondy

Velmi žádanou metodou vhodnou k **ověření výztuže** v prvku je provedení sekané sondy. Princip spočívá v odstranění betonu kolem výztuže, její následné zaměření, stanovení počtu a typu. Oblíbená je především díky své finanční nenáročnosti, avšak její průkaznost v případech výztuže ve vrstvách je velice malá. Při větších sondách je také velké poškození pohledové části konstrukce.

Tenzometrická měření

Používají se pro **měření a sledování stavu trhlin** v konstrukci. Jedná se především o trhliny dilatační, závislé na teplotě, a u mostních konstrukcí o trhliny způsobené dopravou.

Tenzometrická měření by měla být kontinuální, v případě dilatačních změn by mělo jít o dobu minimálně 15 měsíců, aby bylo možné postihnout chování konstrukce během celého roku. K tomuto účelu se používají **strunové** tenzometry. Měření trhlin způsobených dopravou může být kratší, zde by mohly být vhodnější tenzometry **odporové**.

Trhliny v konstrukci mají často nepříznivý vliv na její trvanlivost, protože porušením krycí vrstvy betonu se k výztuži dostává oxid uhličitý a urychluje se její koroze. Je tedy nutné věnovat trhlínám dostatečnou pozornost.

Zatěžovací zkoušky

Předešlé metody se zabývaly zkoušením a zjišťováním materiálů (kromě tenzometrických měření). Zkoušky zatěžovací se týkají celé konstrukce. Jejich účelem je ověření únosnosti v těchto případech:

- a) pokud použitý návrhový model únosnosti není dostatečně výstižný (např. v oblastech, kde neplatí předpoklad rovinnosti průřezů)
- b) pokud jsou oprávněné pochybnosti o dodržení požadavků na provádění konstrukce

- c) pokud nelze dostatečně spolehlivě stanovit vstupní hodnoty do návrhového modelu únosnosti, tj. návrhové hodnoty materiálů a zatížení
- d) po jejím zesílení nebo opravě [3]

Podle porušení konstrukce se rozlišují zkoušky **s dosažením mezní únosnosti**, tj. do porušení konstrukce. Takové zkoušky se provádějí pouze na prvcích, které lze z konstrukce vyjmout. Druhý způsob je **bez dosažení mezní únosnosti**, kdy nedojde k porušení konstrukce. Zde se únosnost stanovuje nepřímo na základě měřených veličin, zejména velikosti deformace během zkoušky a trvalých deformací po jejím skončení.

Podle účinků zatížení se zkoušky dělí na **statické** a **dynamické**.

Příprava, provádění a hodnocení výsledků jsou uvedeny v normě ČSN EN 13822, která se odkazuje na normy ČSN 73 2030 – Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí a ČSN 73 6209 – Zatěžovací zkoušky mostů.

3.4.2 Laboratorní zkušební metody

Při hodnocení stávajících konstrukcí se tyto zkoušky provádějí převážně na zkušebních tělesech vyrobených z jádrových vývrtů. V laboratořích se využívají metody elektrodynamické, chemické a snad nejpodstatnější jsou zatěžovací zkoušky v lisech.

Stejnorodost betonu

Je charakteristika, kdy sledované vlastnosti mají tak malé rozdíly, že se dají vyjádřit většinou průměrnou hodnotou. Pro její stanovení se využívá některé z následujících vlastností:

- pevnost betonu v tlaku (nedestruktivně nebo na vývrtech)
- pevnost betonu v tahu
- rychlost šíření ultrazvukového vlnění
- objemová hmotnost

O stejnorodý beton se jedná tehdy, když variační součinitel V_x a rozdíl Δ znaků zjištěný na místech nad sebou a vedle sebe není větší než hodnoty v tabulce 2.

Zkoušená vlastnost	Statistické hodnocení	Třída betonu			
		(B12,5) C8/10	(B20) C16/20	(B30) C25/30	(B35 až B60) C30/37 a lepší
Pevnost v tlaku	$V_x \%$	16	16	14	12
	$\Delta \%$	30	30	30	30
Pevnost v tahu	$V_x \%$	22	20	18	16
	$\Delta \%$	40	40	40	40
Rychlost šíření podél. UZ vln	$V_x \%$	4	4	3,5	3
	$\Delta \%$	7,5	7,5	7,5	7,5
Objemová hmotnost	$V_x \%$	2,5	2,5	2,5	2,5
	$\Delta \%$	4	4	4	4

Tab. 2: Hodnoty max. variačního součinitele V_x a rozdílu na sousedních místech Δ , Zdroj: *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky, strana 30*

Variační součinitel V_x se vypočte ze vztahu:

$$V_x = \frac{s_x}{m_x} \cdot 100$$

- s_x je výběrová směrodatná odchylka souboru hodnot
- m_x je aritmetický průměr hodnot materiálové vlastnosti

Elektrodynamické metody

Nejdůležitější elektrodynamickou metodou zkoušení betonových konstrukcí je čistě nedestruktivní **ultrazvuková impulsní metoda**, kterou se dají zkoušet jak dílce, tak celé konstrukce. Jedná se o mechanické vlnění s frekvencí od 20 kHz do 150 kHz, výjimečně až 500 kHz, jehož rychlost je závislá jak na fyzikálně mechanických vlastnostech materiálu, tak na přítomnosti poruch v konstrukci. Obecně platí, že čím vyšší frekvence, tím vyšší rozlišovací schopnost a přesnost. Měřicí postupy, zkušební místa a vyhodnocení výsledků se provádí v souladu s normou ČSN EN 12504-4 – Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu.

V zásadě existují dva hlavní způsoby vyšetřování vlastností konstrukce či materiálu pomocí ultrazvuku. Prvním je **stanovení rychlosti šíření** ultrazvukového impulsu zkoumaným prostředím. Tento způsob vypovídá jak o fyzikálně-mechanických vlastnostech materiálu, tak o případných defektech. Druhým způsobem je **metoda odrazová**, kde se snažíme zachytit odraz ultrazvukového signálu od nehomogenity, defektu či cizího tělesa v konstrukci. [3]

Jak už je zmíněno výše, ultrazvuk se dá použít ke zjištění poruch v konstrukci. Dá se ale také s výhodou použít ke **stanovení modulu pružnosti betonu** z jádrových vývrtů. Postupuje se podle zmíněné ČSN EN 12504-4 a takto získaný modul pružnosti je dynamický E_{bu} . Ten závisí na rychlosti šíření ultrazvuku, objemové hmotnosti a koeficientu rozměrnosti materiálu. Pro přepočet na statický modul pružnosti E_c se dle ČSN 73 2011 používají zmenšovací součinitele. Orientační hodnoty těchto součinitelů lze v normě nalézt, ale pro různé druhy betonu se mohou mírně lišit.

Chemické zkoušky

Mezi tyto zkoušky patří stanovení hloubky karbonatace betonu a zjištění obsahu chloridových iontů. Dělají se hlavně kvůli ověření prostředí, ve kterém se nachází betonářská výztuž, která je při pozitivních výsledcích náchylná ke korozi.

Karbonatace je jev, kdy beton reaguje se vzdušným oxidem uhličitým za vzniku uhličitánů. Tím se snižuje obsah hydroxidových iontů a klesá hodnota pH. Tento proces začíná nejdříve u povrchových vrstev, ale časem postupuje i do hloubky. Na pevnost betonu nemá vliv, ale při dosažení pH pod 9,5, tedy snížení zásaditosti, už začíná korodovat výztuž.

K posouzení se používá **fenolftaleinová zkouška**. Na odbroušený nebo rozdrcený povrch odebraných vzorků se nastříká destilovaná voda a nechá se oschnout. Poté se aplikuje 1% lihový roztok fenolftaleinu v 70 % etanolu. Tam, kde dojde k pozitivní reakci, tedy k zabarvení do červeno-fialova, má beton pH vyšší než 9,5 a výztuž je zde chráněna. Pro stanovení hloubky karbonatace je však tato zkouška pouze orientační.

Zejména u posuzování konstrukcí vystavených působení rozmrazovacích prostředků, tedy mostů, má velký význam **obsah chloridových iontů**. Tyto ionty vyvolávají korozi ocelové výztuže i při pH vyšším než 9,5. Odebírají se proto vzorky z té části konstrukce, která byla vystavena agresivním roztokům posypových solí (NaCl) zejména z oblastí ochranné vrstvy kotev, soustředěné nosné výztuže a z míst viditelně narušených korozi.

Pro obsah chloridů se odebírají vzorky bez použití vody nejčastěji ze tří hloubek závislých na krycí vrstvě. Tyto vzorky odebrané z plochy 200 x 200 mm z osmi vrtů se dokonale homogenizují. Hodnota pH se pak stanovuje potenciometricky z výluhů betonu,

obsah chloridů rozpustných ve vodě odměrnou analýzou. Výsledkem je molární poměr koncentrací iontů Cl^- a OH^- . Pokud $c\text{Cl}^- / c\text{OH}^- > 0,6$, pak je předpoklad koroze výztuže.

Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost se určí ze vzorků jádrových vývrtů jako poměr hmotnosti betonu k jeho objemu. Objem se z pravidelných vzorků může vypočítat, z nepravidelných se určí vážením na vzduchu a pod vodou. Jednotka objemové hmotnosti je kgm^{-3} . Výsledná spočtená objemová hmotnost se zaokrouhlí na 10 kgm^{-3} . Přesné požadavky na zkušební tělesa a postupy jsou popsány v normě ČSN EN 12390-7.

Zkouška betonu v osovém tlaku

Vzorky z jádrových vývrtů mají být upraveny a musí splňovat požadavky určené normou ČSN EN 12390-2 a ČSN EN 12390-3 a zkušební lisy musí vyhovovat normě ČSN EN 12390-4.

Upravená zkušební tělesa se zatěžují v lisech plynule tlakem až do jejich plného porušení. Pevnost v tlaku se určí jako poměr maximální síly dosažené při zatěžování a plochy průřezu. Pro určení pevnosti v celé konstrukci nebo jejích částech je třeba provést více zkoušek a ty pak statisticky vyhodnotit podle normy ČSN EN 206-1. Výsledná pevnost se zaokrouhlí na $0,1 \text{ Nmm}^{-2}$.

4 Praktická část

Praktická část práce se především zabývá prohlídkou mostu vycházející z normy ČSN 73 6221 zaměřenou na poruchy a jejich příčiny.

Je zde proveden návrh zkušebních metod, které by bylo třeba provést pro kompletní diagnostiku a skutečně provedené zkoušky s vyhodnocením.

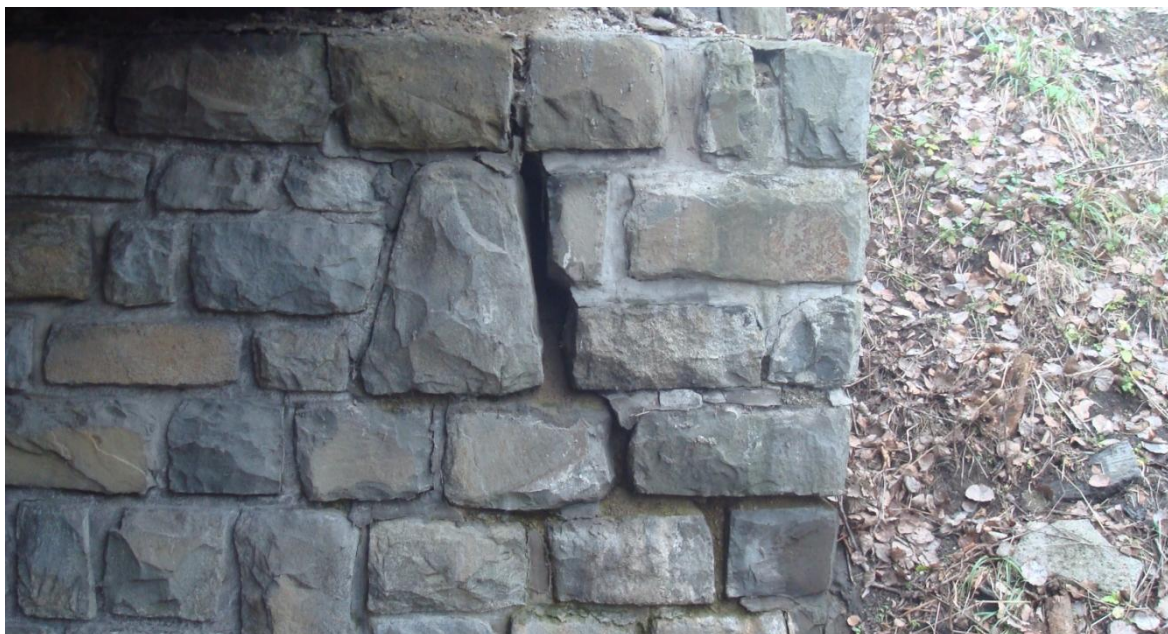
Poslední kapitola je zaměřena na stanovení zatížitelnosti mostu podle normy ČSN 73 6222 doplněné TP 200. Statický výpočet je proveden ve třech místech konstrukce, a to uprostřed krajního č. 1, vnitřního pole a nad podpěrou č. 3. Výsledná zatížitelnost je poté stanovena nejnížší hodnotou z každého řezu.

4.1 Prohlídka mostu ev. č. 46-057

Prohlídkami mostů se zabývá norma ČSN 73 6221, kterou se bude řídit tato kapitola. V normě se mimo jiné uvádí druhy a termíny prohlídek mostů, zde se bude jednat o prohlídku běžnou s návazností na prohlídku hlavní, jejich provádění a rozsah.

4.1.1 Spodní stavba

Spodní stavbu tvoří dvě krajní betonové opěry a dvě vnitřní betonové podpěry s kamenným obkladem. Podpěry nevykazují viditelné deformace ani sedání, v kamenné vazbě křídel dochází k odstraňování pojiva ze spár a zakořeňování vegetace. Mostní křídla a jejich návaznost na římsy jsou povrchově degradované, objevuje se koroze uchycení svodidel. Na pravé straně opěry číslo 4 je svislá trhлина šířky asi 10 cm procházející kolmou spárou závěrné zdi, prostupující úložným prahem až do dvou třetin výšky dříku nad terénem (Obr. 11). Způsobená je zatékáním vody mezi nosnou konstrukcí a závěrnou zdí.



Obr. 11: Trhлина v opěře č. 4

Další poruchou je rozpadávání kamenného obkladu na horní hraně podpěry číslo 3 na povodní straně. Příčinou je zkorodované odvodňovací zařízení a následné protékání vody (Obr. 12).



Obr. 12: Rozpad kamenného zdiva podpěry č. 3

Třetí významnou poruchou je narušená kamenná vazba u mostního křídla opěry 1 (Obr. 13), která je opět následkem vody, konkrétně se jedná o špatné odvodnění mostního svršku a navazující pozemní komunikace, kdy nejnižší místo pro odtok vody je právě nad trhlinou.



Obr. 13: Narušená vazba mostního křídla opěry č. 1

4.1.2 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce, stejně jako spodní stavba, nevykazuje mnoho významných poruch, které by měly mít vliv na provoz na mostě jako nadměrné průhyby, nepřipustné kmitání a podobně. Přesto se při podrobnějším prozkoumání najdou poruchy, které z dlouhodobého hlediska mají na životnost mostu značný vliv.

Jedná se především o místa s nedostatečným krytím betonářské výztuže, které způsobil buďto špatný návrh krycí vrstvy nebo nesprávné provedení při stavbě mostu, nebo působící okolní vlivy, především klimatické vlivy, posypové soli a voda.

Na následujícím obrázku (Obr. 14) je vidět část spodního líce krajního trámu a nalevo odvodňovací potrubí. Na tomto místě není prakticky žádná krycí vrstva a je zde přesně vidět podélná nosná výztuž a kolmo na ni smyková výztuž v podobě třmínků tvořených ocelovými pásky 20 x 5 mm asi po 300 mm.



Obr. 14: Korodující výztuž krajního trámu na povodní straně

Podobně vypadají oba krajní trámy po celé délce mostu převážně v místech, kde zatéká voda odváděná z mostního svršku (Obr. 15). Vnitřní trámy a příčníky tyto poruchy nevykazují v takovém rozsahu, z čehož se dá usuzovat na funkční izolaci provedenou při opravě v roce 1993. Po celé délce mostu je ale viditelná ve větší nebo menší míře

prokopírovaná korodující výztuž desky, trámů i příčníků způsobená pravděpodobně karbonatací betonu a malou tloušťkou krycí vrstvy.



Obr. 15: Degradace krycích vrstev krajního trámu, koroze výztuže

V podstatně horším stavu jsou všechny trámy v blízkosti krajních opěr a koncové příčníky. Jedná se hlavně o první pole. Zde se projevuje koroze výztuže na trámech zhruba do vzdálenosti 2 m od opěry způsobená zatékáním vody přes mostní závěr (Obr. 16). Tato voda také způsobuje masivní degradaci betonu koncových příčníků a úplné obnažení již korodující výztuže (Obr. 17). Tyto poruchy by mohly v budoucnu ovlivnit i únosnost mostu, protože příčníky jsou spojovacím prvkem v přenosu zatížení mezi spodní stavbou a nosnou konstrukcí.



Obr. 16: Pohled na opěru č. 1, koroze výztuže



Obr. 17: Krajní trám opěry č. 1, vymílání betonu

4.1.3 Mostní ložiska a dilatační závěry

Jak už bylo popsáno výše, most je uložen celkem na dvaceti ocelových (je možné, že litinových) ložiscích z toho 15 posuvných a 5 pevných. Výška ložisek na opěrách je 200 mm, na podpěrách 350 mm. Jedná se o stolicové přímkové ložiska, která mohla být vyrobena individuálně pro tuto konkrétní stavbu. Přesný typ není znám.

Funkčnost i stav vnitřních ložisek na podpěrách 2 a 3 jsou dobré, bez výrazných poruch a závad. I úložné prahy jsou čisté a vyspádované (Obr. 18). Totéž se nedá říct o ložiskách na opěrách a krajních ložiskách podpěr 2 a 3, kde prosakující voda vymílá beton z nosné konstrukce a závěrné zdi, tím se zanášejí úložné prahy, není zajištěn odtok vody, a proto všechna tato ložiska vykazují značnou míru koroze a jejich pohyblivost je velmi omezena, ne-li úplně znemožněna (Obr. 19).

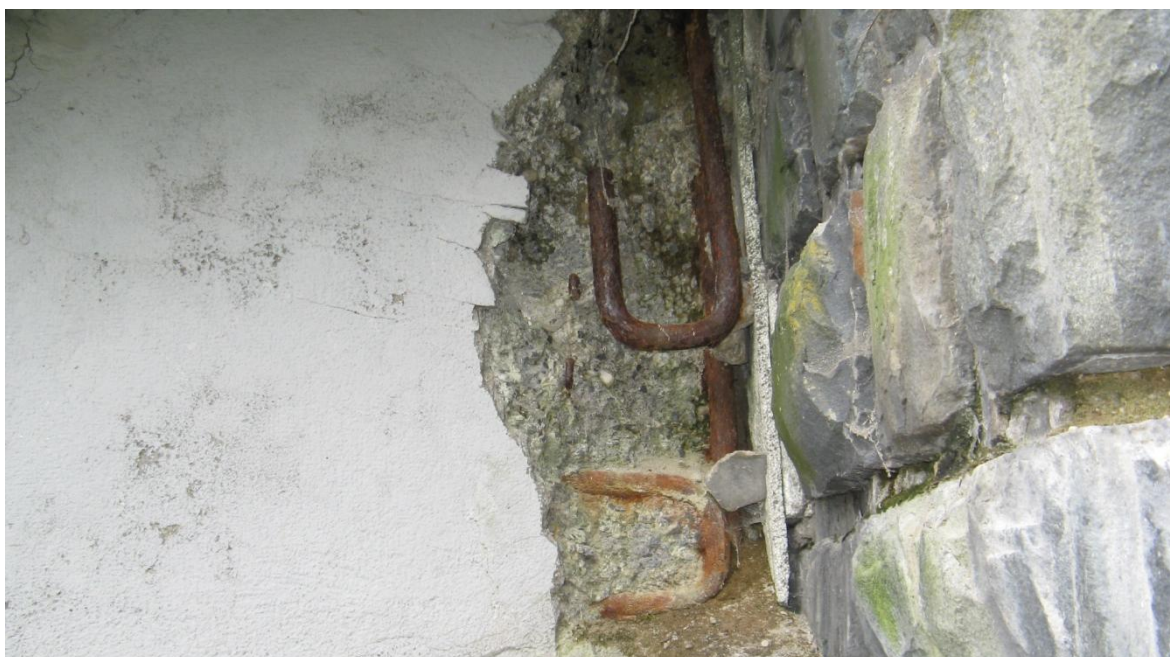


Obr. 18: Stolicové přímkové ložisko vnitřních podpěr



Obr. 19: Krajní ložisko opěry č. 4

Funkčnost mostních dilatačních závěrů je z prohlídky velmi nejasná. Nosná konstrukce je se závěrnou zdí oddělena pouze dvěma polystyrenovými deskami tloušťky 20 mm (Obr. 20). Místa, kde by měly být mostní závěry, jsou zalita vozovkovými vrstvami (Obr. 21). Nedá se tedy říct, jakou dilataci tato opatření umožňují.



Obr. 20: Mostní závěr a obnažená korodující kotvená výztuž



Obr. 21: Mostní závěr opěry č. 1

4.1.4 Mostní svršek

Vozovka je v příčném sklonu 2 %, v podélném sklonu 1,5 %. Na jejím povrchu se nevyskytují žádné významné poruchy, výtluky ani velké trhliny. Po celé délce se ale objevují mrazové trhliny. V letních měsících se mezi prefabrikovanými betonovými mostními římsami a vozovkou vyskytuje zakořeněná vegetace. Záchytnou funkci zde plní zábradelní svodidlo vyplněné svislými tyčemi. Jeho stav je dobrý, bez poruch a známek nárazu. Osazeno je modrými odraznými terčíky.

Most je řádně opatřen dopravním značením omezujícím zatížitelnost shodnými údaji, jaké jsou uvedeny v mostním listě. Nechybí ani označení mostu s evidenčním číslem dle ČSN 73 6220 (Obr. 22).



Obr. 22: Dopravní značení mostu

4.1.5 Odvodňovací systém

Odvodnění mostního svršku zabezpečuje příčný a podélný sklon vozovky, kterým je srážková voda odváděna do vpustí pod římsami. Vpustě jsou rozmístěny po celé délce mostu po 5 metrech na obou stranách. Ty pak ústí do potrubí průměru 150 mm, které by mělo odvádět vodu do vsakovacích jam pod mostem mezi třetí a čtvrtou podpěrou. Voda není svedena až na terén, ale ztéká volně otvory v potrubí.

Aktuální stav odvodňovacích prvků je velmi špatný. Příčný sklon v některých místech není schopen odvést vodu (Obr. 23), na mostě se drží voda a zvyšuje riziko porušení vozovkových vrstev, hlavně v zimních měsících a následný průsak vody na nosnou konstrukci. Odvodňovací potrubí vykazuje vysoký stupeň koroze (Obr. 24) v některých místech, zejména v napojení na vpustě, je potrubí zkorodované úplně (Obr. 25).



Obr. 23: Neodvedená voda na mostním svršku



Obr. 24: Zkorodované odvodňovací potrubí na povodní straně



Obr. 25: Napojení svislého a vodorovného potrubí

V místech mostních závěrů není odvodnění provedeno vůbec, voda zde protéká vozovkovými vrstvami kolem nosné konstrukce a způsobuje poruchy uvedené v předchozích kapitolách.

4.1.6 Území pod mostem

Pod první polem mostu protéká řeka Moravice, normální stav hladiny je 0,5 m. Koryto řeky je čisté, bez naplavenin, plynulý průtok vody. Ve druhém poli protéká malý potok, bývalý mlýnský náhon. Hladina dosahuje výšky asi 0,1 m, šířky asi 1,5 m. Terén kolem poměrně čistý. Ve třetím poli jsou vedle třetí podpěry umístěny 2 vsakovací jámy zasypané drceným kamenivem. Území čisté, v letních měsících zakořeněná nízká vegetace.

4.2 Návrh diagnostických metod

Poptávka diagnostiky uvádí možnost opravy mostu zesílením spřaženou železobetonovou deskou nebo dodatečným předpětím. Tyto úpravy si podle normy ČSN 73 6222 žádají provedení statického výpočtu k ověření nebo stanovení nové zatížitelnosti mostu. K posouzení konstrukce je třeba zjistit co nejvíce reálných parametrů, aby věrohodnost výsledků byla co možná největší.

Ke zpracování geometrického modelu konstrukce většinou postačují ověřené údaje z dostupných zdrojů (výkresy, mostní listy,...) nebo vlastní naměřené hodnoty. Do posudků jsou ale zahrnuty především materiálové vlastnosti, v tomto případě betonu, a údaje o betonářské výztuži. Pro zjištění těchto hodnot jsou navrženy následující diagnostické metody.

4.2.1 Stanovení pevnosti betonu v tlaku

Vhodnou metodou se zde jeví tlaková zkouška vzorků odebraných jádrovými vývrti. Zjišťovat se budou dvě hodnoty, a to pevnost desky a pevnost trámů s příčnicki.

Minimální počet vývrtů stanovených normou ČSN 73 2011 je 9 pro celou konstrukci. K co nejlepšímu objektivnímu zjištění pevnostních parametrů by ale bylo třeba provést vývrtů daleko více. Návrh počítá s vývrti v každém trámu, tedy 15, jeden do každého koncového příčnicku, tedy 4 a v každém poli jeden mezilehlý příčník, tedy 3. V mostovkové desce by měly být provedeny alespoň 3, uprostřed každého pole. Celkem

tedy **25 vývrtů** průměru 75 mm. Ty budou sloužit k upřesnění tvrdoměrných zkoušek, které by měly být provedeny podle stejné normy s ohledem na objem (přes 300 m³), plochu (510,3 m²) konstrukce a předpokládanou velikost záměsi čerstvého betonu (0,30 m³) minimálně na **70 místech** včetně těch pro jádrové vývrty.

Vývrty by měly být provedeny na trámech vždy v polovině rozpětí každého pole u spodního líce, v příčnicích také zhruba v jejich polovinách. Tvrdoměrná měření by měla být rovnoměrně rozmístěna po celé nosné konstrukci včetně spodního líce desky.

4.2.2 Stanovení modulu pružnosti

S výhodou lze na upravených vzorcích jádrových vývrtů stanovit ultrazvukovou impulsní metodou modul pružnosti betonu, který se používá při stanovení průhybu konstrukce. Takto zjištěný dynamický modul pružnosti se přepočte pomocí zmenšujících součinitelů uvedených v ČSN 73 2011 na modul statický.

4.2.3 Stanovení objemové hmotnosti

Z jádrových vývrtů provedených na konstrukci se stanoví opět dvě hodnoty objemové hmotnosti betonu. Ta pak slouží ke stanovení vlastní tíhy konstrukce.

4.2.4 Stanovení hloubky karbonatace

Určuje se fenolftaleinovou zkouškou a jejím výsledkem je zjištění karbonatace v různých hloubkách, ve kterých je ohrožena betonářská výztuž korozí. Tato zkouška se provádí ze vzorků ve formě prášku vynášeného vrtákem. Zkušební místa by měla být volena v každém poli mostu na všech trámech, tedy 15, koncových příčnicích, tedy 4 a v každém poli dvakrát v mostovkové desce, tedy 6. Celkem **25 vzorků**. Výsledkem je hodnota pH v určených hloubkách, stupeň karbonatace a zařazení prvku do její etapy.

4.2.5 Zjištění obsahu chloridových iontů

Jedná se o chemickou analýzu stejných práškových vzorků jako u předešlé zkoušky, dále pak rentgenovou difrakční analýzu a diferenční termickou analýzu. Výsledkem těchto zkoušek je pak stanovení procentuálního obsahu chloridů vztaženého k dávce cementu a následné zhodnocení rizika koroze výztuže dle ČSN EN 206-1. Tyto dvě zkoušky nesouvisejí přímo se statickým výpočtem, ale mohou být použity k odhadu životnosti konstrukce a následných oprav mostu.

4.2.6 Ověření výztuže

Naopak velmi důležité pro posouzení je ověření betonářské výztuže mostu. V dostupných zdrojích jsou informace o jejím rozložení, ale nejsou zde popsány průměry, typy výztužných prvků. K ověření výztuže a jejího krytí velice dobře poslouží elektromagnetické metody, kterými lze kompletně projít celou konstrukci a zjistit, jestli je výztuž tam, kde má být. Pro přesnější ověření se navrhuje provedení radiografických zkoušek, které odhalí přesnou polohu, průměr i vrstvy výztuže. Ověřit by se měla výztuž v každém poli na jednom z trámů uprostřed rozpětí a v náběžích u spodního líce, a ve středním poli desky. Minimálně tedy **7 prozařování**.

4.2.7 Skladba vozovkových vrstev a desky

Důležitou informací je také ověření tloušťek vozovkových vrstev a železobetonové desky mostovky především k výpočtu ostatního stálého zatížení mostu. Nejlépe se toto ověří jádrovým vývrtem skrz všechny vrstvy vozovky a desku.

4.2.8 Skladba mostních podpěr

U kompletní diagnostiky by také nemělo chybět ověření spodní stavby. Nejvhodnější metodou ke zjištění kompletní skladby podpěr včetně šířek jednotlivých vrstev jsou jádrové vývrty. Průměr může být stejný jako pro nosnou konstrukci, délka závisí na šířce podpěry. Vývrt by měl být dlouhý aspoň do poloviny její šířky, co se týče krajních opěr, tam by měl projít celou opěrou a dále pak alespoň jeden metr do hloubky křídla. Na každé podpěře jsou navrženy 3 vývrty, celkem tedy **12 vývrtů** na celém mostě.

4.3 Použité diagnostické metody

Statikem byly požadovány zkoušky pro stanovení pevnostních parametrů betonu, chemický rozbor betonu, a radiografická kontrola výztuže.

4.3.1 Jádrové vývrty

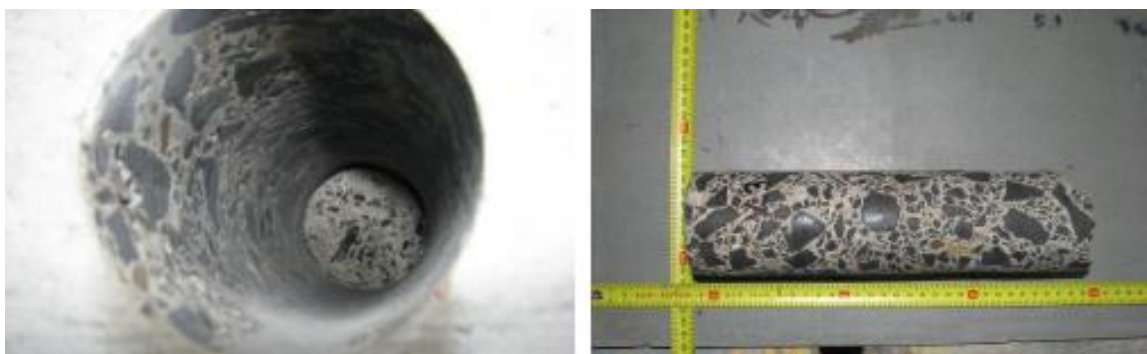
Jádrové vývrty byly prováděny s využitím jádrové vrtací techniky HILTI DD 120. Jádrová vrtačka byla osazena vrtacími jádrovými korunkami, průměr vývrtu 75 mm. Korunka byla během vrtání chlazena vodou. Odběr byl prováděn v souladu s normou ČSN EN 12504-1. Sondy byly po odvrtání zapraveny.

Počet a místa pro sondy:

- 4 x krajní trám ve vnitřním poli
- 2 x krajní trám v krajním poli
- 2 x vnitřní trám ve vnitřním poli
- 1 x mostovková deska ve vnitřním poli
- 1 x mostovková deska v krajním poli

Stručný popis jednotlivých vzorků

- **V1A** – krajní trám vnitřního pole na povodní straně, struktura betonu silně porézní
- **V2B** – krajní trám vnitřního pole na povodní straně, doplňkový vzorek k V1A, struktura obdobná
- **V2** – krajní trám vnitřního pole na povodní straně, struktura betonu v dobrém stavu, bez zvýšené porozity
- **V3** – vnitřní trám vnitřního pole na návodní straně, struktura betonu v dobrém stavu, bez zvýšené porozity



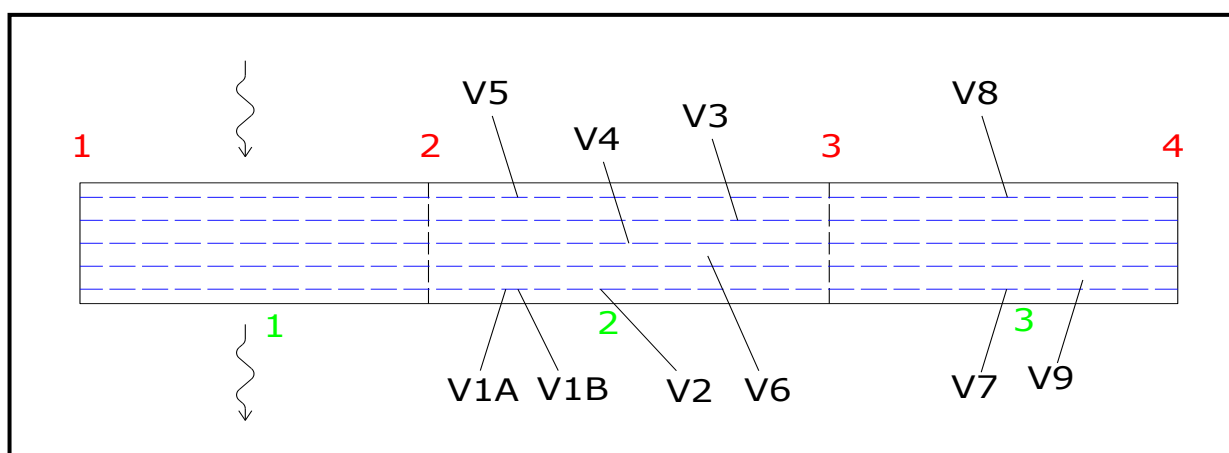
Obr. 26: Jádrový vývrt V3, Zdroj: *Zpráva o provedené diagnostice mostní konstrukce, strana 9*

- **V4** – střední trám vnitřního pole, struktura betonu obdobná jako u V3
- **V5** – krajní trám vnitřního pole na návodní straně, struktura betonu v dobrém stavu, mírná porozita na povrchu vzorku
- **V6** – mostovková deska vnitřního pole, struktura betonu velmi dobrá
- **V7** – krajní trám krajního pole (č. 3) na povodní straně, struktura betonu v dobrém stavu, bez zvýšené porozity
- **V8** – krajní trám krajního pole (č. 3) na návodní straně, struktura obdobná jako u vzorku V7

- **V9** – mostovková deska krajního pole (č. 3), struktura betonu velmi dobrá



Obr. 27: Jádrový vývrt V9, Zdroj: *Zpráva o provedené diagnostice mostní konstrukce, strana 16*



Obr. 28: Schéma zkušebních míst jádrových vývrtů

4.3.2 Tvrdoměrné zkoušky

V krajním poli byly provedeny nedestruktivní zkoušky Schmidtovým sklerometrem sloužící k upřesnění pevnostních parametrů vzorků odebraných jádrovými vývrti. Zkoušení bylo prováděno podle normy ČSN EN 12504-2.

Zkušební místa:

- 8 x krajní trám
- 8 x vnitřní trám
- 8 x příčník
- 8 x mostovková deska

4.3.3 Radiografická kontrola výztuže

Poloha výztuže v řezu je pro základní umístění zářiče určena pomocí magnetického indikátoru výztuže Profometer 4 od firmy PROCEQ.

Rozmístění výztuže v trámech bylo stanoveno radiografickou stereometodou. Použit byl zářič Co60 o aktivitě 1,095 TBq k 19.9 2004, který je přepravován v radiografickém uranovém krytu TECH/OPS, model 741 (bi52). Radiogramy byly exponovány na filmy AGFA Testix C7 + Pb v komorovém balení o rozměrech 0,4 x 0,3 m, které bylo umístěno v plastických kazetách. Měření proběhlo 10. 9. 2012 ve volném terénu. Bezpečnost všech účastníků byla zajištěna vzdáleností a kontrolována dozimetrickými přístroji DKS – 04.

Výztuž a tloušťka krycí vrstvy byla také doplňkově ověřena sekanou sondou, která byla po zaměření zapravena.



Obr. 29: Radiografický uranový kryt TECH/OPS, model 741, Zdroj: *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky, strana 103*

Zkušební místa:

- **Průřez R1** – uprostřed rozpětí krajního trámu při dolním líci, ve středním poli na návodní straně
- **Průřez R2** – uprostřed rozpětí krajního trámu při dolním líci, v krajním poli (č. 3) na návodní straně

4.3.4 Chemická analýza betonu

Vzorky pro chemickou analýzu ve formě prášku byly odebrány vidiovým vrtákem ze tří hloubek od líce prvku. V laboratoři byly podrobeny chemickému rozboru, rentgenové difrakční analýze, diferenční termické analýze a stanovení pH ve výluhu. Zkoušky byly prováděny dle ČSN 72 0100 a s ní souvisejících norem.

Místa odběru vzorků:

- **V1,2,3** – krajní trám vnitřního pole
- **V3,4,5** – deska vnitřního pole
- **V6,7,8** – krajní trám krajního pole

4.3.5 Doplnkové zkoušky karbonatace

Jedná se o aplikaci fenolftaleinového roztoku na návrty vidiovým vrtákem o průměru 25 mm do hloubky cca 50 mm (tloušťka krycí vrstvy). Zkouška byla provedena také na všech odebraných vývrtech.

Zkušební místa:

- 9 x trámy
- 4 x příčníky
- 4 x mostovková deska

4.4 Výsledky zkoušek

V této kapitole budou shrnuty výsledky z provedených diagnostických metod podle zjišťovaných vlastností. Bude také obsahovat upozornění na nesrovnalosti nebo nedodržení požadavků souvisejících norem.

4.4.1 Pevnost betonu v tlaku

Na zkušebních tělesech vyrobených z jádrových vývrtů byly stanoveny dvě hodnoty tlakové pevnosti betonu, a sice pevnost prutových prvků (trámy a příčníky) a pevnost mostovkové desky. Ke stanovení pevnosti trámů bylo vyrobeno celkem **17 těles**,

ke stanovení pevnosti desky **3 tělesa**. Dále byla provedena tvrdoměrná měření, u trámů **24 zkušebních míst, u desky 8**.

Zkoušení a vyhodnocení zkoušek proběhlo podle norem ČSN EN 12504-1, ČSN EN 13822 a ČSN EN 13791, ne vždy je však hodnocení korektní, především kvůli nedostatečnému počtu zkušebních míst. Číselné hodnoty a výpočty jsou uvedeny v příloze, výsledky jsou uvedeny dále v textu.

Trámy a příčníky

Výsledná hodnota byla stanovena ze všech těles a všech tvrdoměrných měření, nehledě na místech odběru. Je to tedy hodnota reprezentující všechny trámy a příčníky mostu.

- jádrové vývrty: $f_{c,cube} = 16,0 \text{ MPa}$ (ČSN EN 13822)
 $f_{ck,is} = 11,4 \text{ MPa}$ (ČSN EN 13791)
- NDT zkoušky: $f_{c,cube} = 9,5 \text{ MPa}$ (ČSN EN 13822)
 $f_{ck,is} = 11,4 \text{ MPa}$ (ČSN EN 13791)
- zařídění dle ČSN EN 206-1: **C 12/15**

U krychelné pevnosti stanovené na vzorcích vyrobených z jádrových vývrtů je však nesoulad s normami, protože variační součinitel V_x vyšel větší než 16, z toho vyplývá, že beton je nestejnorodý. Pevnost stanovená tvrdoměrnými nedestruktivními zkouškami vyšla velice nízká a je opět způsobena variačním součinitelem větším než 16.

Pro stanovení objektivnějších výsledků a především pro splnění požadavků norem by bylo třeba zvýšit počet zkušebních míst podle návrhu v kapitole 4.2.

Mostovková deska

Výsledná hodnota byla stanovena pouze na třech tělesech vyrobených z jádrových vývrtů a 8 tvrdoměrných měření. Tak málo zkušebních míst ale nevyhovuje normám a přesto, že výsledky destruktivních i nedestruktivních zkoušek se výrazně neliší, nemohou se tyto hodnoty považovat za průkazné.

- jádrové vývrtky: $f_{c,cube} = 45,3 \text{ MPa}$ (ČSN EN 13822)
 $f_{ck,is} = 46,4 \text{ MPa}$ (ČSN EN 13791)
- NDT zkoušky: $f_{c,cube} = 31,7 \text{ MPa}$ (ČSN EN 13822)
 $f_{ck,is} = 40,7 \text{ MPa}$ (ČSN EN 13791)
- zatřídění dle ČSN EN 206-1: **C 30/37**

4.4.2 Stanovení objemové hmotnosti betonu

Objemová hmotnost betonu byla stanovena na vzorcích z jádrových vývrtů podle normy ČSN EN 12390-7 a výsledkem jsou dvě hodnoty.

- Objemová hmotnost trámů a příčníků: $\rho = 2380 \text{ kgm}^{-3}$
- Objemová hmotnost trámů a příčníků: $\rho = 2520 \text{ kgm}^{-3}$

4.4.3 Ověření výztuže

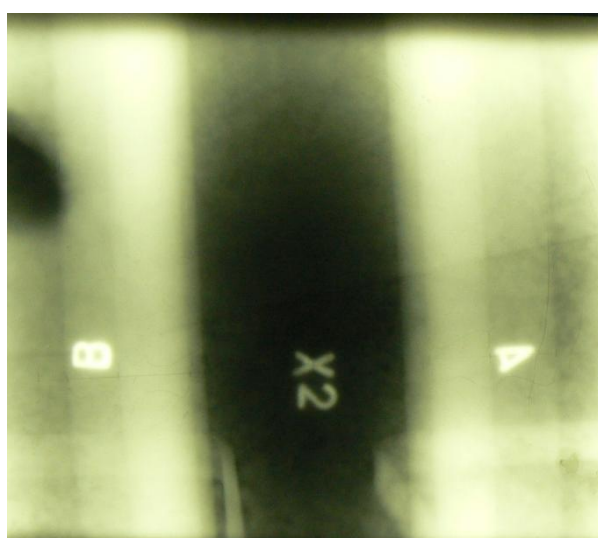
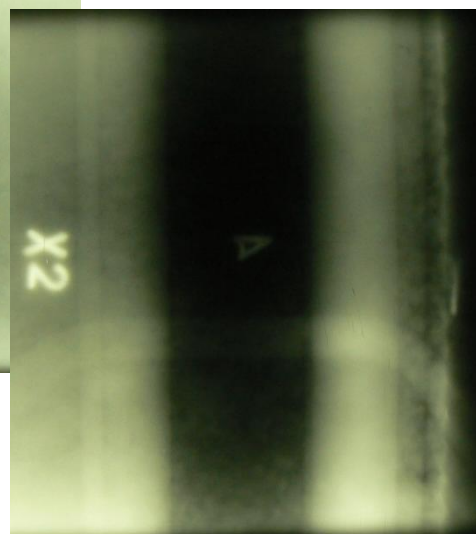
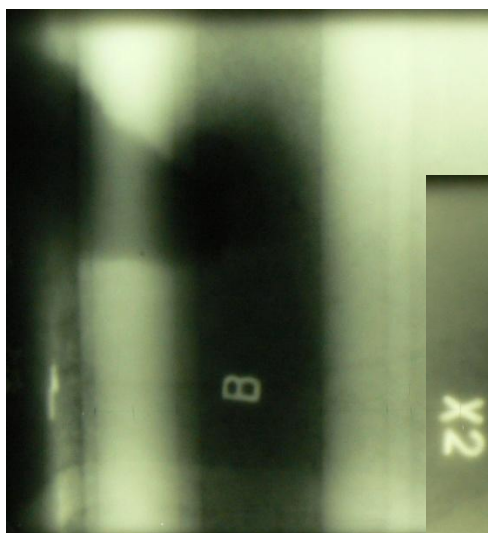
Ověření bylo provedeno v průřezích R1 a R2 nedestruktivně radiograficky, následně pak byly v těchto místech provedeny sekané sondy (Obr. 30, Obr. 31). Výstupem radiografické kontroly byly radiogramy (Obr. 33, Obr. 34), jejich vyhodnocení, tedy poloha, průměr a krytí výztuže, je patrné dalších obrázků (Obr. 32, Obr. 35).



Obr. 30: Sekaná sonda průřezu R1, Zdroj: *Zpráva o provedení diagnostiky mostní konstrukce, strana 20*

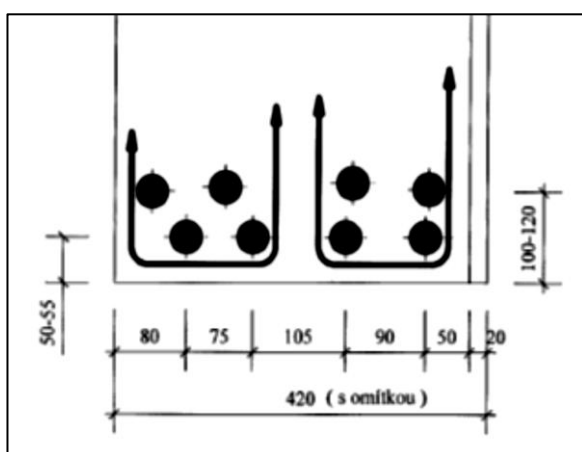


Obr. 31: Sekaná sonda průřezu R2, Zdroj: *Zpráva o provedení diagnostiky mostní konstrukce, strana 20*

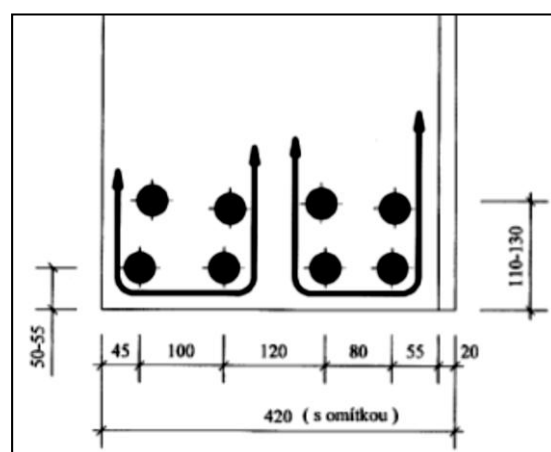


Obr. 34: Složení radiogramů průřezu R2, zářiče umístěny nad body A, B

Obr. 33: Radiogram průřezu R2, zářič umístěn nad bodem X2



Obr. 32: Vyhodnocení radiogramu průřezu R1, Zdroj: Zpráva o provedení diagnostiky mostní konstrukce, strana 19



Obr. 35: Vyhodnocení radiogramu průřezu R2, Zdroj: Zpráva o provedení diagnostiky mostní konstrukce, strana 20

V průřezu R1 bylo zjištěno **8 prutů hladké výztuže průměru 32 mm**, pravděpodobně se jedná o výztuž s označením C 34, ve dvou vrstvách, tříminky dvoustřížné 20 x 5 mm rozmístěné v kontrolované oblasti po 220 a 300 mm.

V průřezu R2 bylo zjištěno **8 prutů hladké výztuže průměru 32 mm**, pravděpodobně se jedná o výztuž s označením C 34, ve dvou vrstvách, tříminky dvoustřížné 20 x 5 mm rozmístěné v kontrolované oblasti po 270, 290 a 300 mm.

Sekané sondy potvrdily tloušťku krycí vrstvy, typ a průměr výztuže.

4.4.4 Chemická analýza betonu

Chemickou analýzou povrchových vrstev betonu byl stanoven stupeň karbonatace, hodnota kyselosti betonu a obsah chloridových iontů. Z těchto hodnot byly zkoušené části zaříděny do etapy karbonatace a bylo zhodnoceno riziko koroze výztuže podle ČSN EN 206-1. Konkrétní hodnoty ukazuje následující tabulka.

označení vzorku	prvek	vzdálenost vzorku od líce trámu	stupeň karbonatace °K [%]	pH [-]	etapa karbonatace	obsah chloridů vztažený k dávce cementu [% z hmotnosti cementu]	hodnocení rizika koroze výztuže
V1	krajní trám vnitřního pole	0 - 10 mm	76,1	8,2	III.	0,7	hrozí riziko koroze
V2		10 - 30 mm	71,6	8,4	III.	0,5	hrozí riziko koroze
V3		30 - 50 mm	68,5	9,7	II.	0,5	hrozí riziko koroze
V4	deska vnitřního pole	0 - 10 mm	38,9	12,0	I.	0,1	nehrozí riziko koroze
V5		10 - 30 mm	34,1	12,2	I.	0,2	nehrozí riziko koroze
V6		30 - 50 mm	32,4	12,2	I.	0,1	nehrozí riziko koroze
V7	krajní trám krajního pole	0 - 10 mm	59,3	10,6	II.	0,5	hrozí riziko koroze
V8		10 - 30 mm	41,2	11,7	I.	0,2	nehrozí riziko koroze
V9		30 - 50 mm	39,6	11,9	I.	0,1	nehrozí riziko koroze

Tab. 3: Vyhodnocení chemických zkoušek

Z chemické analýzy vyplývá, že beton krajního trámu vnitřního pole je i v hloubce 50 mm od líce kontaminován chloridy, které mohou urychlit korozi výztuže. Schopnost betonu pasivovat výztuž svou alkalitou je ještě snížena karbonatací. Tyto negativní jevy budou zvyšovat rychlost koroze u výztuže, která nemá dostatečnou krycí vrstvu.

Beton v krajním poli krajního trámu je chloridy zasažen pouze v nejsvrchnější vrstvě, proto výztuži v těchto místech nehrozí bezprostřední riziko koroze.

V desce beton není chloridy téměř zasažen, koroze výztuže nehrozí.

4.4.5 Doplnkové zkoušky karbonatace

U provedených sond na trámech a příčnicích nedošlo po aplikaci fenoftaleinového roztoku ke zbarvení, z toho tedy vyplývá, že beton je do hloubky přibližně **50 mm od líce zkarbonatovaný**. U betonové mostovkové desky byla **karbonatace prokázána** do hloubky **maximálně 15 mm**.



Obr. 36: Vývrt z desky, Zdroj: Zpráva o provedení diagnostiky mostní konstrukce, strana 28



Obr. 37: Vývrt z trámu, Zdroj: Zpráva o provedení diagnostiky mostní konstrukce, strana 28



Obr. 38: Vývrt z trámu, Zdroj: Zpráva o provedení diagnostiky mostní konstrukce, strana 28

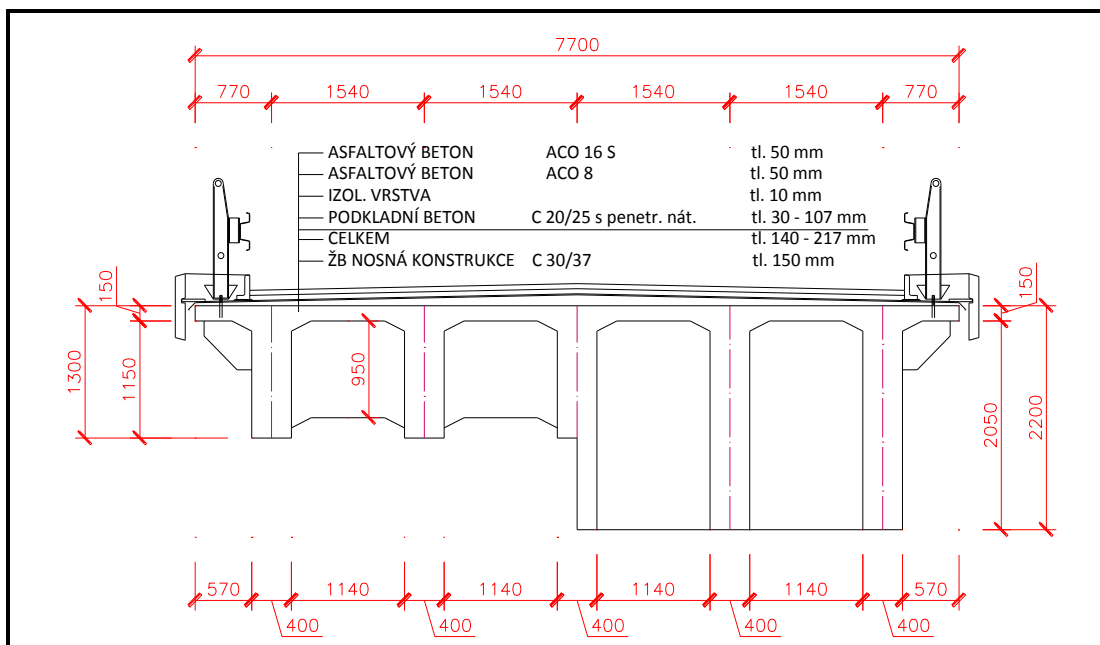
4.5 Výpočet zatížitelnosti

V této kapitole bude provedeno statické posouzení stávající zatížitelnosti mostu. Výchozími podklady budou naměřené veličiny v prohlídce mostu, dostupná výkresová dokumentace a výsledky z provedených zkoušek. Výpočet bude proveden podle ČSN 73 6222 a podle TP 200.

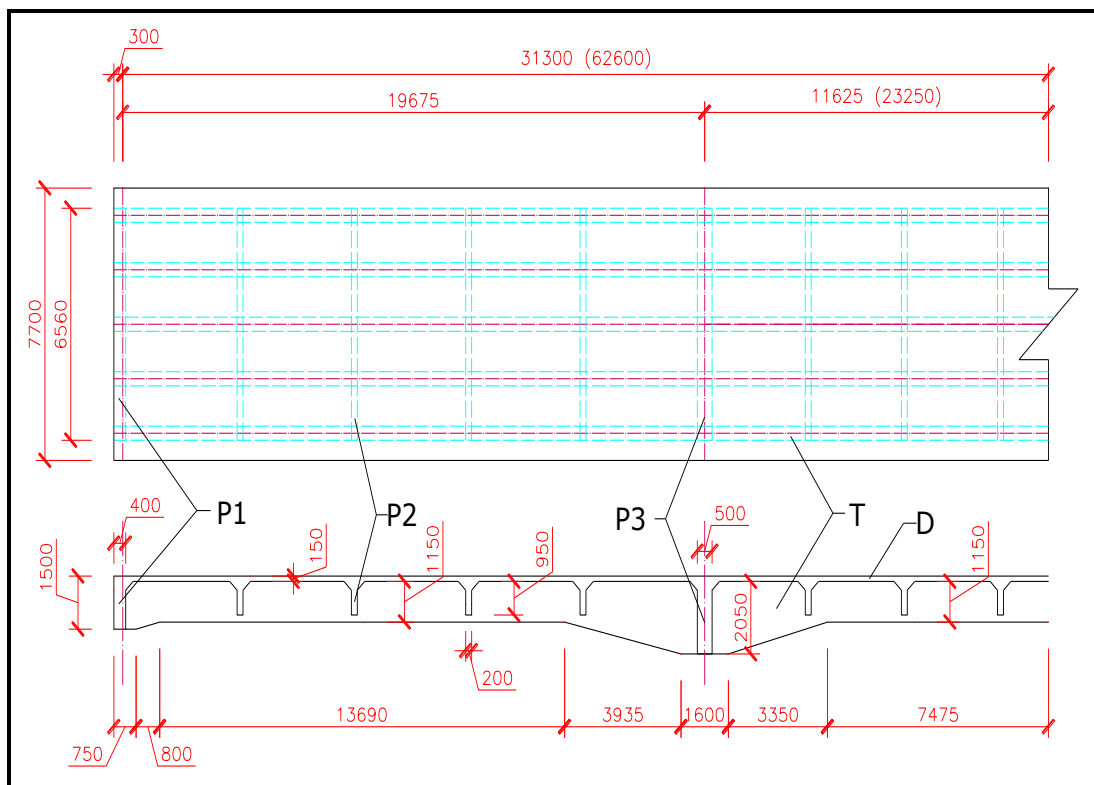
4.5.1 Geometrický model

- délka nosné konstrukce: $L_n = 2 \cdot 19,675 + 23,250 + 2 \cdot 0,3 = \mathbf{63,20 \text{ m}}$
- vzdálenost teoretických podpěr: $a_1 = a_3 = \mathbf{19,675 \text{ m}}$
 $a_2 = \mathbf{23,25 \text{ m}}$
- tloušťka desky: $h_s = \mathbf{0,15 \text{ m}}$
- šířka desky: $b_d = \mathbf{7,70 \text{ m}}$
- výška trámů nad opěrou: $h_{t1} = \mathbf{1,35 \text{ m}}$
- výška trámů v poli: $h_{t2} = \mathbf{1,15 \text{ m}}$
- výška trámů nad podporou: $h_{t3} = \mathbf{2,05 \text{ m}}$
- průměrná výška trámu: $h_t = \mathbf{1,31 \text{ m}}$
- šířka trámů: $b_t = \mathbf{0,40 \text{ m}}$

- (výška x šířka) krajních příčníků P1: $h_{p1} \times b_{p1} = 1,35 \times 0,40 \text{ m}$
- (výška x šířka) příčníků v poli P2: $h_{p2} \times b_{p2} = 0,95 \times 0,20 \text{ m}$
- (výška x šířka) příčníků nad podpěrami P3: $h_{p3} \times b_{p3} = 2,05 \times 0,50 \text{ m}$
- délka příčníků: $l_p = 6,56 \text{ m}$



Obr. 39: Schematický příčný řez



Obr. 40: Schematický půdorys a podélný řez

4.5.2 Materiálové charakteristiky

a) Beton (deska C30/37; trámy C12/15)

- objemová tíha desky: $\gamma_s = 2,520 \text{ kNm}^{-3}$
- objemová tíha trámů a příčníků: $\gamma_t = 2,380 \text{ kNm}^{-3}$
- charakt. hodnota tlakové pevnosti desky: $f_{ck,s} = 30 \text{ MPa}$
- návrhová hodnota tlakové pevnosti desky: $f_{cd,s} = f_{ck1}/\gamma_m = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$
- charakt. hodnota tlakové pevnosti trámů: $f_{ck,t} = 12 \text{ MPa}$
- návrhová hodnota tlakové pevnosti trámů: $f_{cd,t} = f_{ck2}/\gamma_m = 12/1,5 = 8 \text{ MPa}$

b) Betonářská výztuž (hladká, typ neznámý)

- charakt. hodnota meze kluzu: $f_{yk} = 210 \text{ MPa}$
- návrhová hodnota meze kluzu: $f_{yd} = 180 \text{ MPa}$

4.5.3 Zatížení

Zatížení stálá (vlastní tíha, ostatní stálé)

a) vlastní tíha

- vlastní tíha desky: $g_{k,s} = b_d * h_s * \gamma_s = 7,70 * 0,15 * 25,21 = 29,2 \text{ kNm}^{-1}$
- vlastní tíha trámu: $g_{k,t} = h_t * b_t * \gamma_t = 1,31 * 0,4 * 23,82 = 12,5 \text{ kNm}^{-1}$
- vlastní tíha P1: $g_{k,p1} = l_p * h_{p1} * b_{p1} * \gamma_t = 6,56 * 1,35 * 0,4 * 23,82 = 84,4 \text{ kN}$
- vlastní tíha P2: $g_{k,p2} = l_p * h_{p2} * b_{p2} * \gamma_t = 6,56 * 1,05 * 0,2 * 23,82 = 29,7 \text{ kN}$
- vlastní tíha P3: $g_{k,p3} = l_p * h_{p3} * b_{p3} * \gamma_t = 6,56 * 2,05 * 0,5 * 23,82 = 160,2 \text{ kN}$
- celková vlastní tíha: $\sum g_k = L_n * g_{k,s} + 5 * L_n * g_{k,t} + 2 * g_{k,p1} + 14 * g_{k,p2} + 2 * g_{k,p3} = \underline{\underline{6690 \text{ kN}}}$

b) ostatní stálé

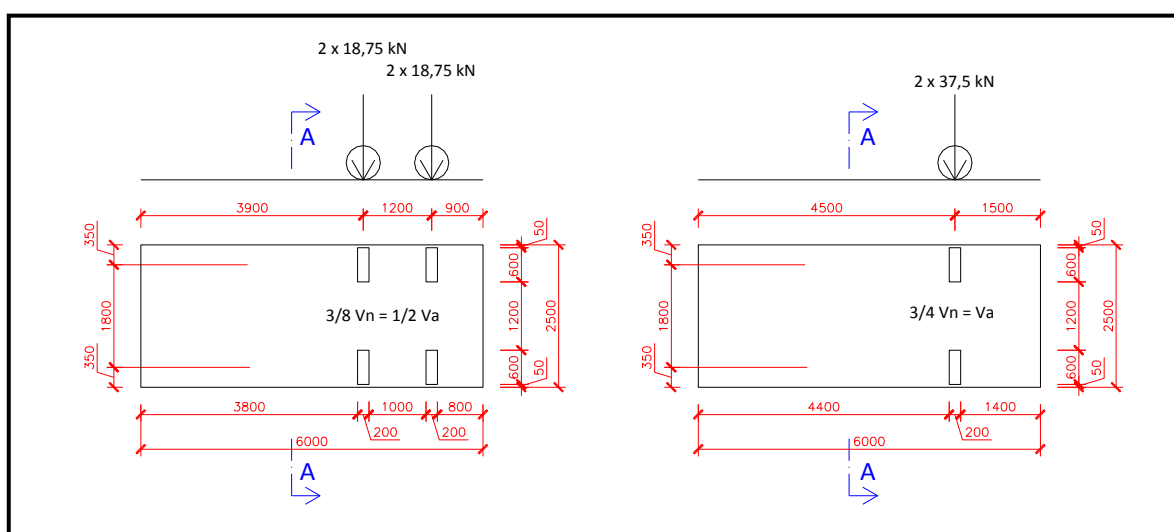
- vozovkové vrstvy: $g_{k,voz} = \check{s}_{voz} * h_{voz} * \gamma_{voz} = 6,60 * 0,10 * 24 = 15,9 \text{ kNm}^{-1}$
- izolační vrstva: $g_{k,iz} = b_d * h_{iz} * \gamma_{iz} = 7,70 * 0,01 * 12 = 0,93 \text{ kNm}^{-1}$
- podkladní beton: $g_{k,podkl} = \check{s}_{voz} * h_{podkl} * \gamma_c = 6,60 * 0,1 * 25 = 16,5 \text{ kNm}^{-1}$
- řimsy + obrubník: $g_{k,\check{r}} = A_{\check{r}} * \gamma_c * 2 = 0,24 * 25 * 2 = 12,0 \text{ kNm}^{-1}$
- svodidla: $g_{k,sv} = 1,0 \text{ kNm}^{-1} * 2 = 2,0 \text{ kNm}^{-1}$
- celkem: $g_{k1} = g_{k,voz} + g_{k,iz} + g_{k,podkl} + g_{k,\check{r}} + g_{k,sv} = \underline{\underline{47,4 \text{ kNm}^{-1}}}$

Zatížení proměnná (zatížení dopravou)

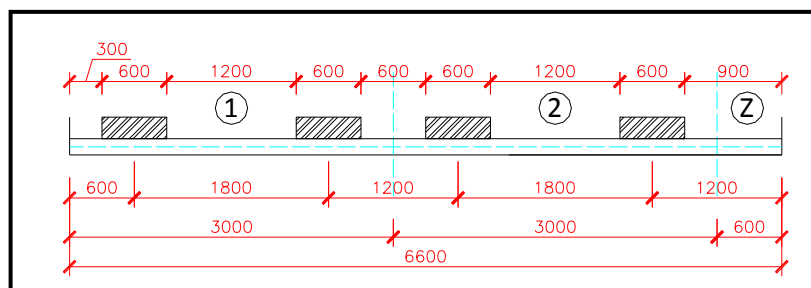
Zatěžovací prostor má šířku 6,60 m, z toho vyplývá rozdělení na dva zatěžovací pruhy šířky 3,0 m a zbývající zatěžovací plocha šířky 0,60 m (normální zatížitelnost).

a) normální zatížitelnost

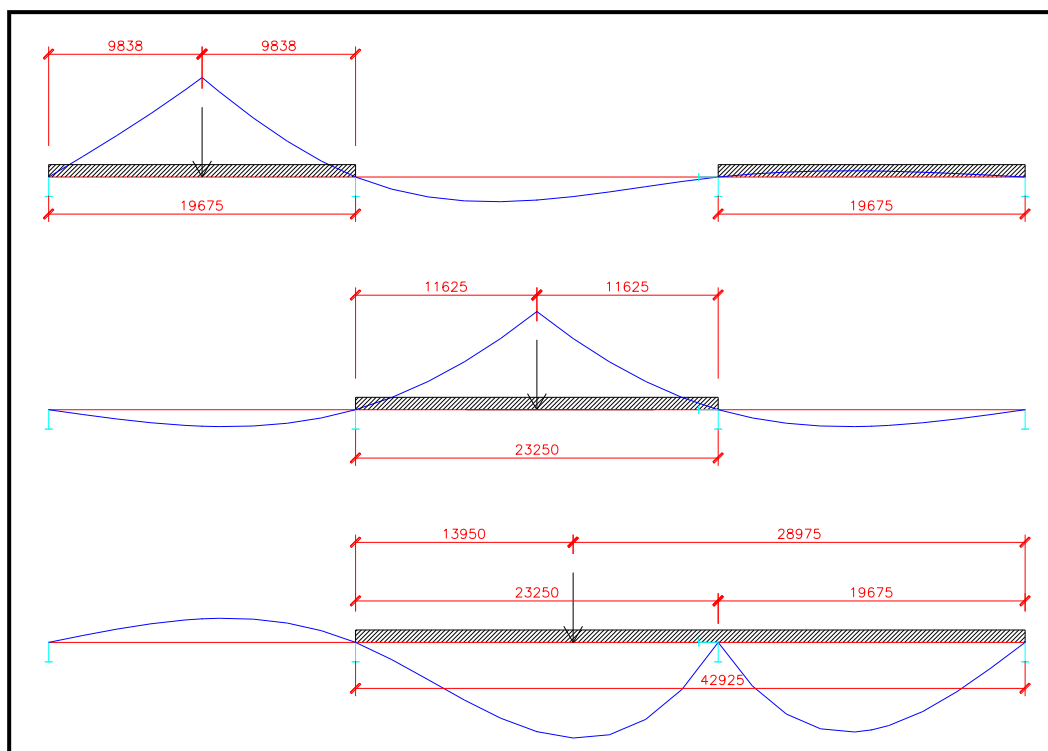
- třínápravové vozidlo tíhy 100 kN v pruhu č. 1, 2
- dvounápravové vozidlo tíhy 100 kN v pruhu č. 1 a č. 2
- rovnoměrné zatížení $2,5 \text{ kNm}^{-2}$ v neomezené délce v pruzích č. 1, 2 a Z



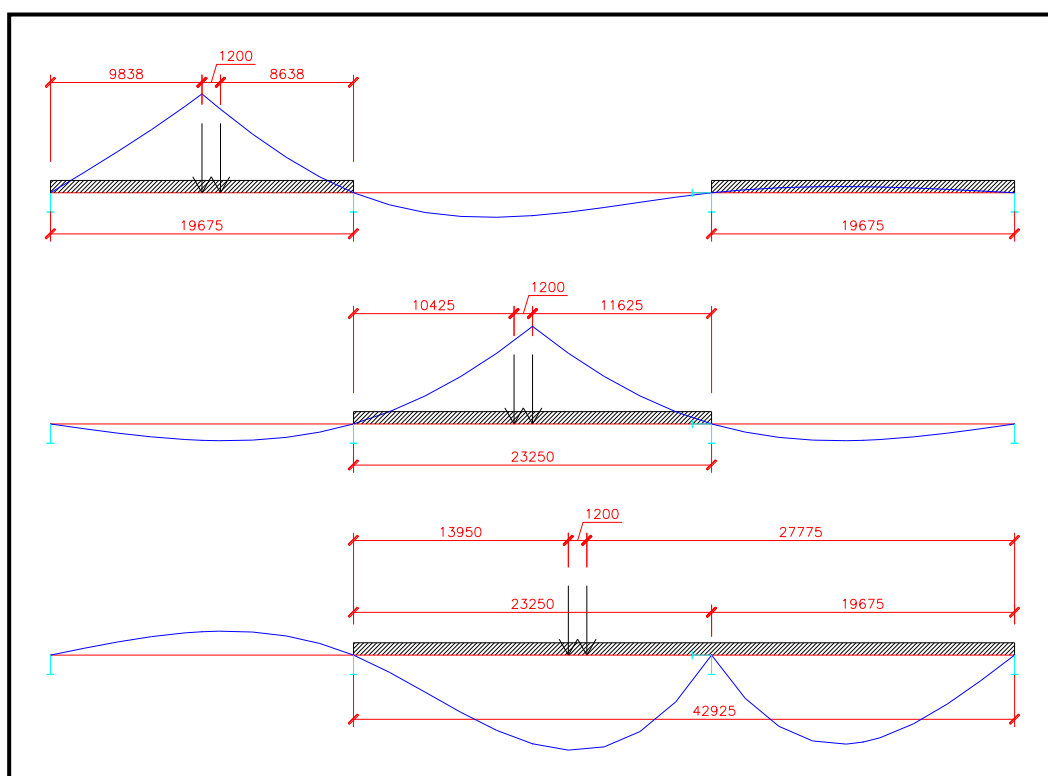
Obr. 41: Zatěžovací schéma třínápravového a dvounápravového vozidla



Obr. 42: Šířkové umístění vozidel na vozovce



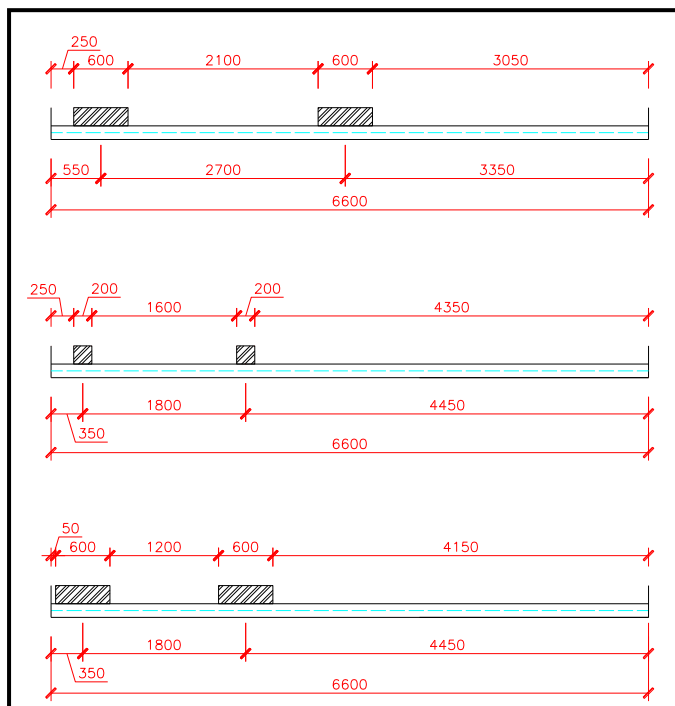
Obr. 43: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů



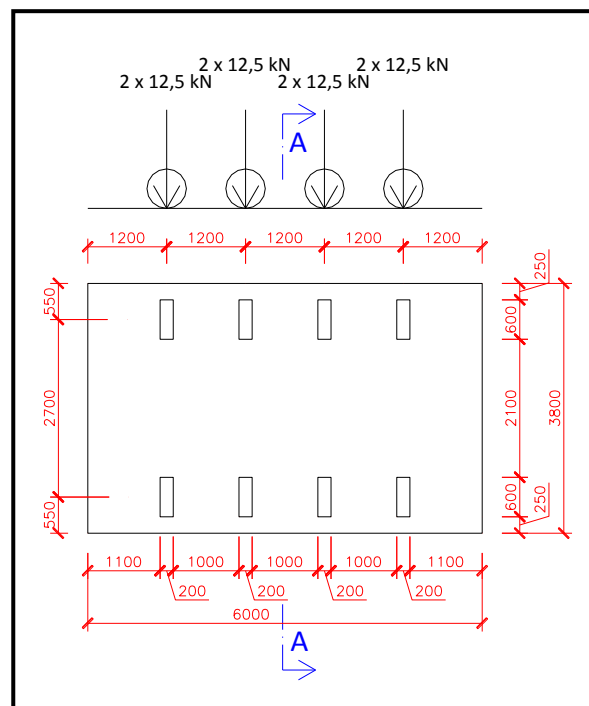
Obr. 44: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů

b) výhradní zatížitelnost

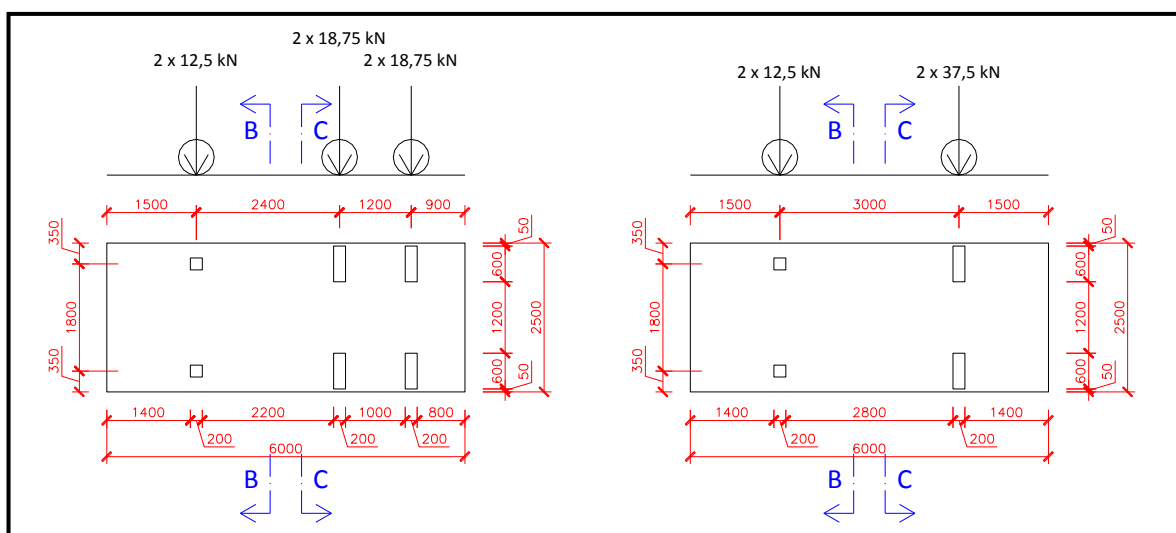
- čtyřnápravové vozidlo tíhy 100 kN
- třínápravové vozidlo tíhy 100 kN
- dvounápravové vozidlo tíhy 100 kN



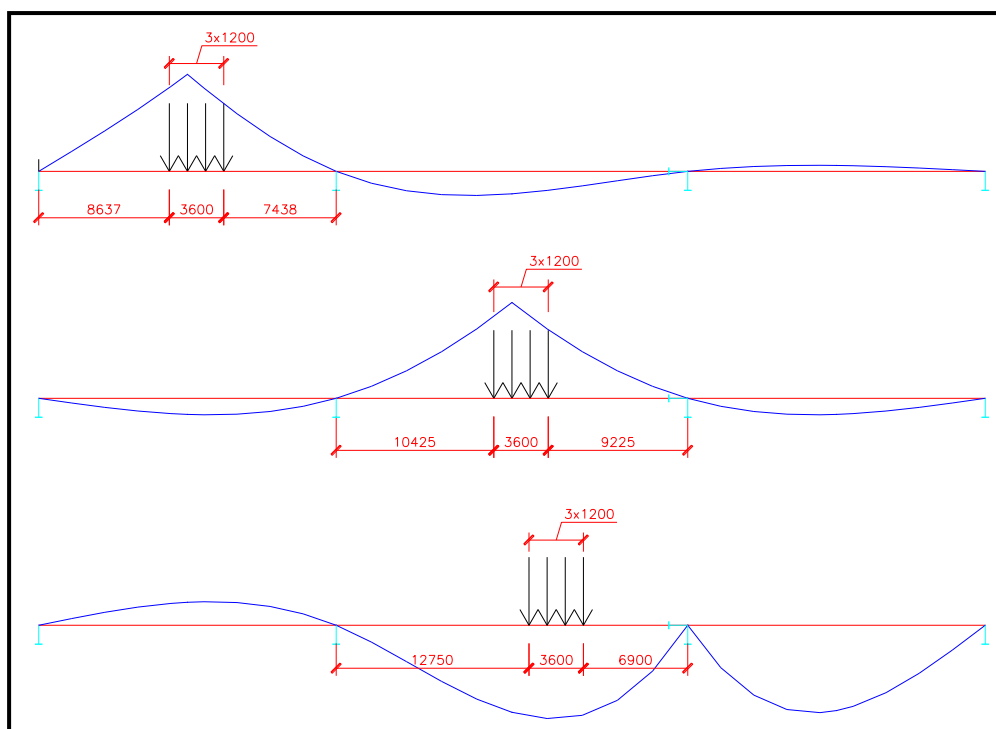
Obr. 45: Šířkové umístění vozidel



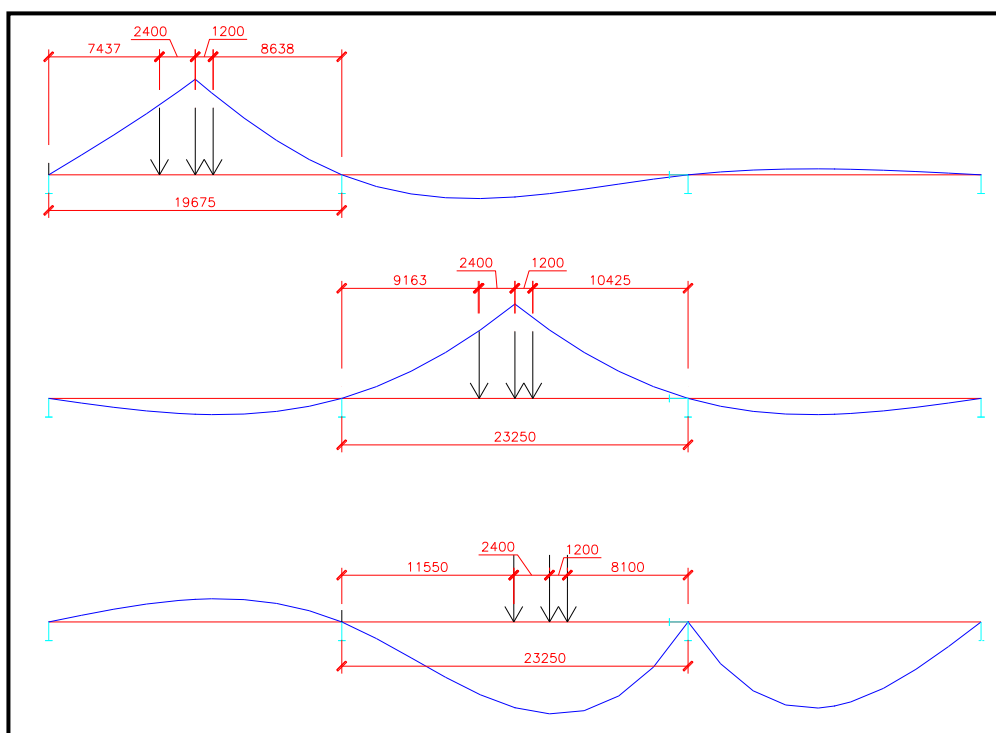
Obr. 46: Zatěžovací schéma čtyřnápravového vozidla



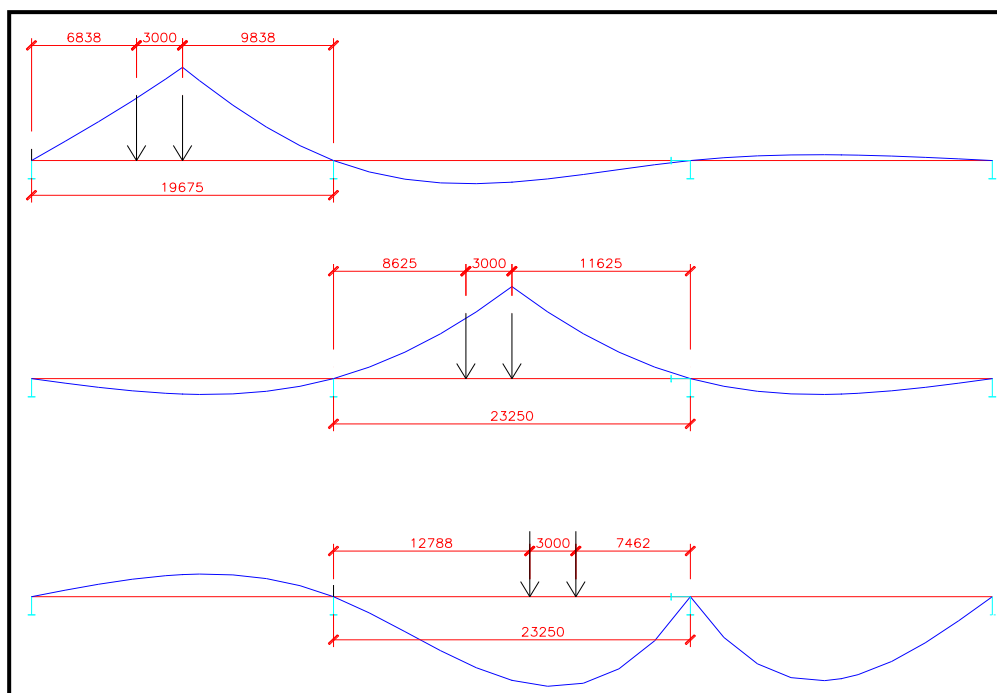
Obr. 47: Zatěžovací schéma třínápravového a dvounápravového vozidla



Obr. 48: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů



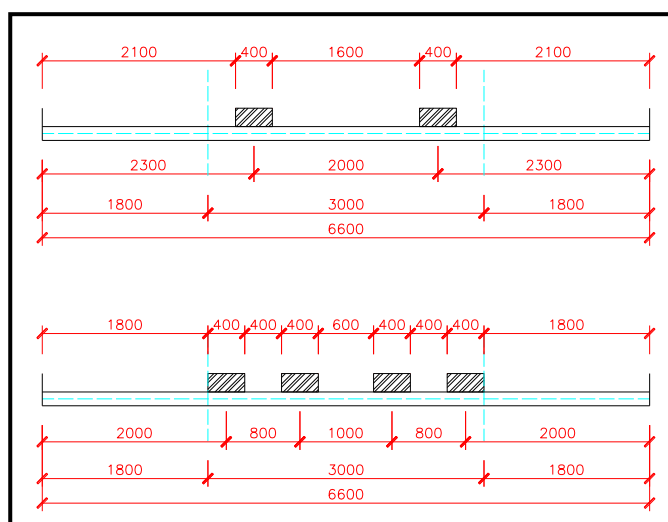
Obr. 49: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů



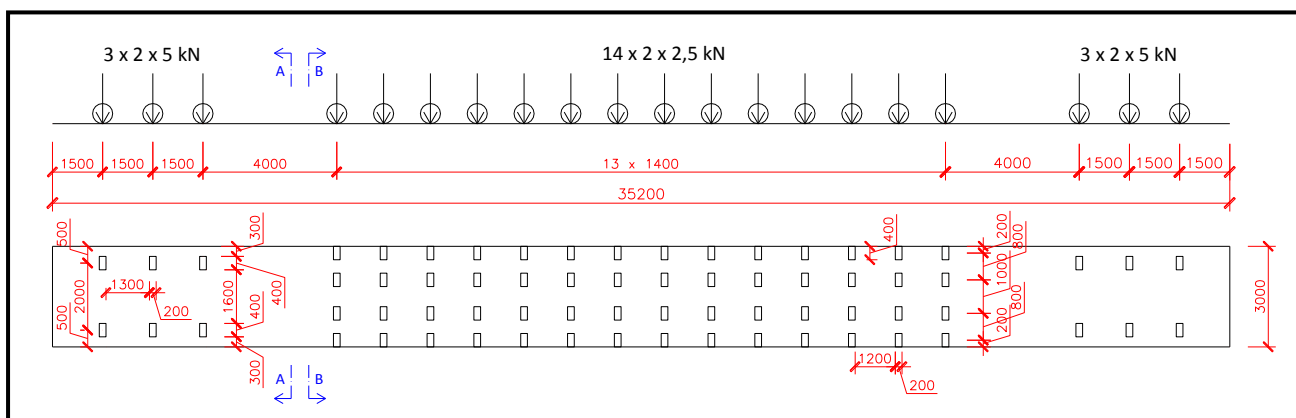
Obr. 50: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů

c) výjimečná zatížitelnost

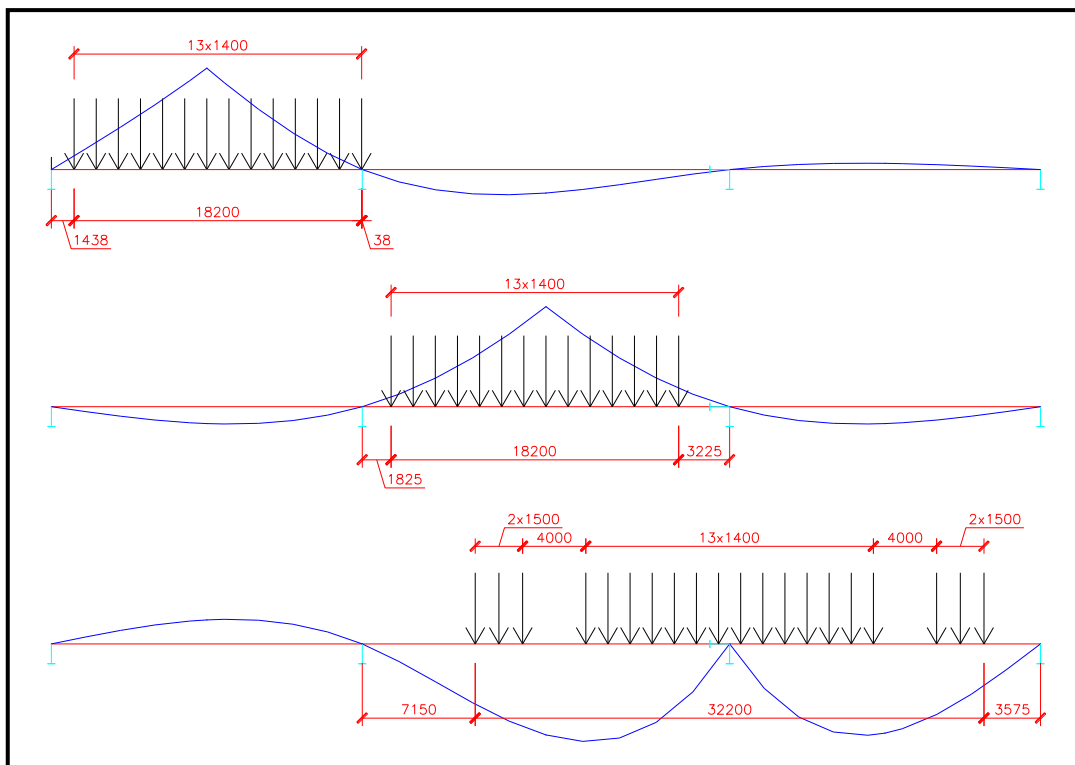
- zvláštní souprava tíhy 140 kN



Obr. 52: Šířkové umístění vozidel



Obr. 51: Zatěžovací schéma zvláštní soupravy

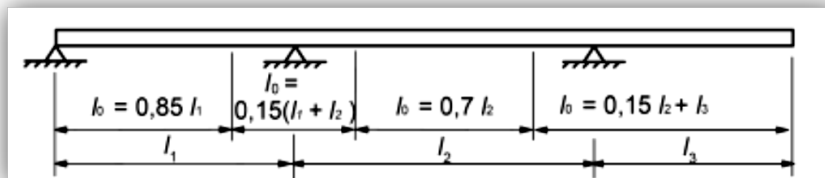


Obr. 53: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů

4.5.4 Spolupůsobící šířka desky

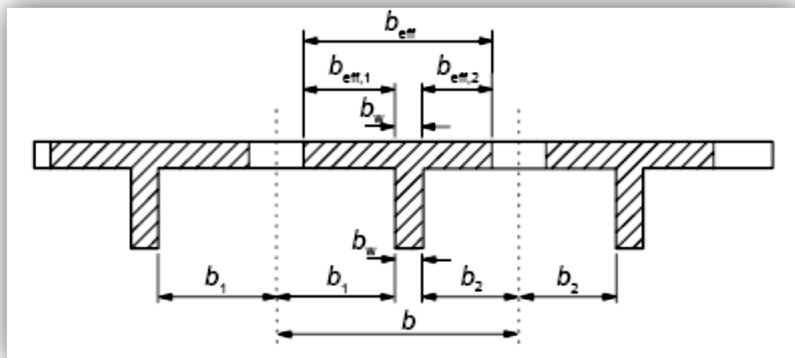
Parametry:

- $l_1 = 19,625 \text{ m}$
- $l_2 = 23,250 \text{ m}$
- $l_3 = 19,625 \text{ m}$



Obr. 54: Definice l_0 pro výpočet spolupůsobící šířky desky, Zdroj: ČSN EN 1992-1-1

- pole 1,3: $l_0 = 0,85 \cdot l_1 = 0,85 \cdot 19,625 = 16,68 \text{ m}$
- pole 2: $l_0 = 0,70 \cdot l_2 = 0,70 \cdot 23,250 = 16,23 \text{ m}$
- podpora 2,3: $l_0 = 0,15 \cdot (l_1 + l_2) = 0,15 \cdot (19,625 + 23,25) = 6,43 \text{ m}$

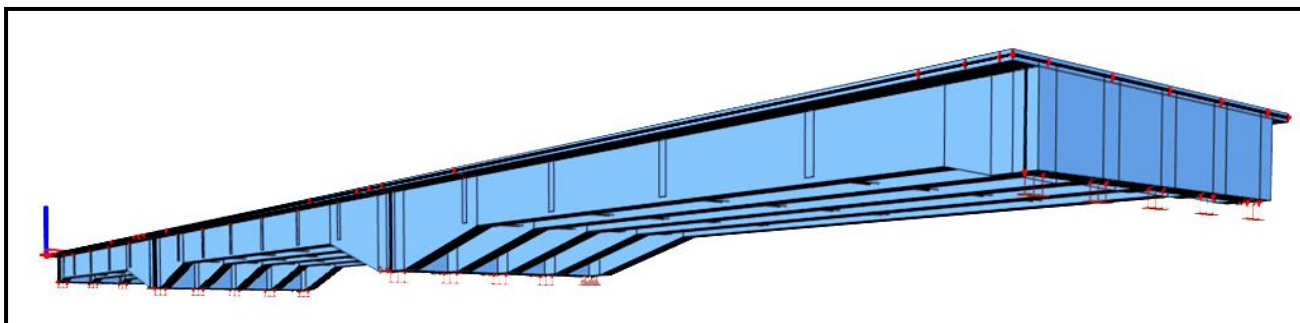


Obr. 55: Parametry pro spolupůsobící šířku desky, Zdroj: ČSN EN 1992 -1-1

- $b_{eff,i} < b_i$
- $b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w < b$
- $b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 < 0,2 \cdot l_0$
- pole 1,3: $b_{eff,1,2} = 0,2 \cdot 0,57 + 0,1 \cdot 16,68 = 1,782 \text{ m} < 0,2 \cdot 16,28 = 3,256 \text{ m}$
 $b_{eff} = 1,782 \cdot 2 + 0,4 = 3,964 \text{ m} \leq 1,54 \text{ m} \rightarrow \mathbf{b_{eff} = 1,54 \text{ m}}$
- pole 2: $b_{eff,1,2} = 0,2 \cdot 0,57 + 0,1 \cdot 16,23 = 1,737 \text{ m} < 0,2 \cdot 16,23 = 3,246 \text{ m}$
 $b_{eff} = 1,737 \cdot 2 + 0,4 = 3,874 \text{ m} \leq 1,54 \text{ m} \rightarrow \mathbf{b_{eff} = 1,54 \text{ m}}$
- podpora 2,3: $b_{eff,1,2} = 0,2 \cdot 0,57 + 0,1 \cdot 6,43 = 0,757 \text{ m} < 0,2 \cdot 6,43 = 1,286 \text{ m}$
 $b_{eff} = 0,757 \cdot 2 + 0,4 = 1,914 \text{ m} \leq 1,54 \text{ m} \rightarrow \mathbf{b_{eff} = 1,54 \text{ m}}$

4.5.5 Statický model

Most staticky působí jako spojitý nosník o třech polích. Teoretické podpory jsou definovány v osách ložisek. Výpočet vnitřních sil konstrukce bude proveden na 3D modelu sestaveném z deskových a prutových prvků v programu Scia Engineering, verze 2012.0. Ověření bude provedeno na zjednodušeném 1D modelu tvořeném prutovými prvky, který bude představovat krajní nejvíce zatížený trám se spolupůsobící šířkou desky.

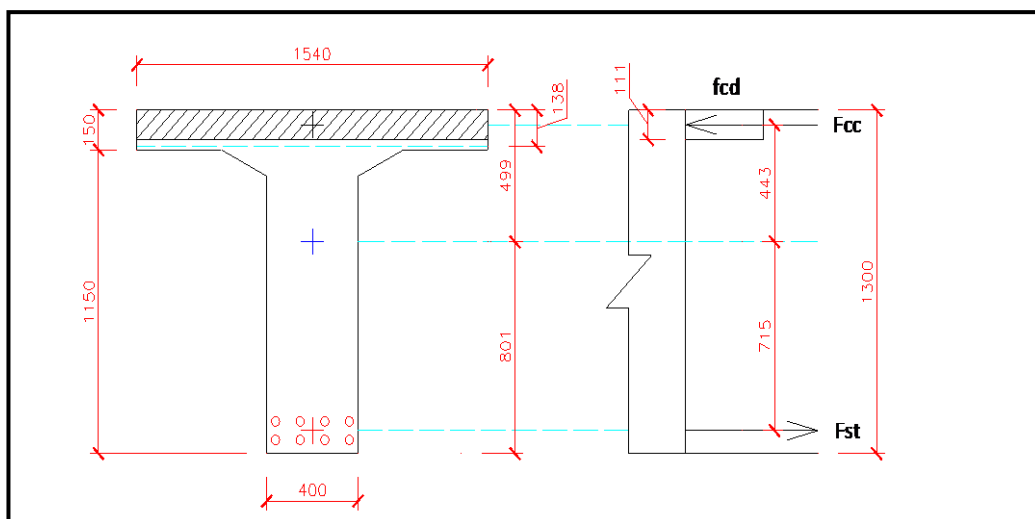


Obr. 56: 3D model mostu sestavený v programu Scia Engineering

4.5.6 Stanovení mezní únosnosti průřezu

a) uprostřed pole 1, 2

- mezní únosnost: $M_{Rd} = F_{cc} * z_{cc} + F_{st} * z_{st}$
- síla tlačného betonu: $F_{cc} = A_{cc} * \eta * f_{cd}$
- síla v tažené výztuži: $F_{st} = A_{st} * f_{yd}$
- použitá výztuž: $\phi 32 \text{ mm}$, počet prutů 8, $A_{st} = \underline{64,34 \text{ mm}^2}$
- plocha tlačného betonu: $A_{cc} = A_{st} * f_{yd} / (\eta * f_{cd})$
 $= 64,34 * 180 / (0,85 * 8,0) = \underline{0,17 \text{ m}^2}$
- výška tlačného průřezu: $\lambda x = A_{cc} / b = 0,17 / 1,54 = \underline{0,111 \text{ m}}$
- poloha neutrálné osy: $x = 0,111 / 0,8 = \underline{0,138 \text{ m}}$
- rameno síly F_{cc} : $z_{cc} = \underline{0,443 \text{ m}}$
- rameno síly F_{st} : $z_{st} = \underline{0,715 \text{ m}}$
- $M_{Rd} = 0,17 * 0,85 * 8 * 0,443 + 0,0064 * 180 * 0,715 = \underline{1341,1 \text{ kNm}}$

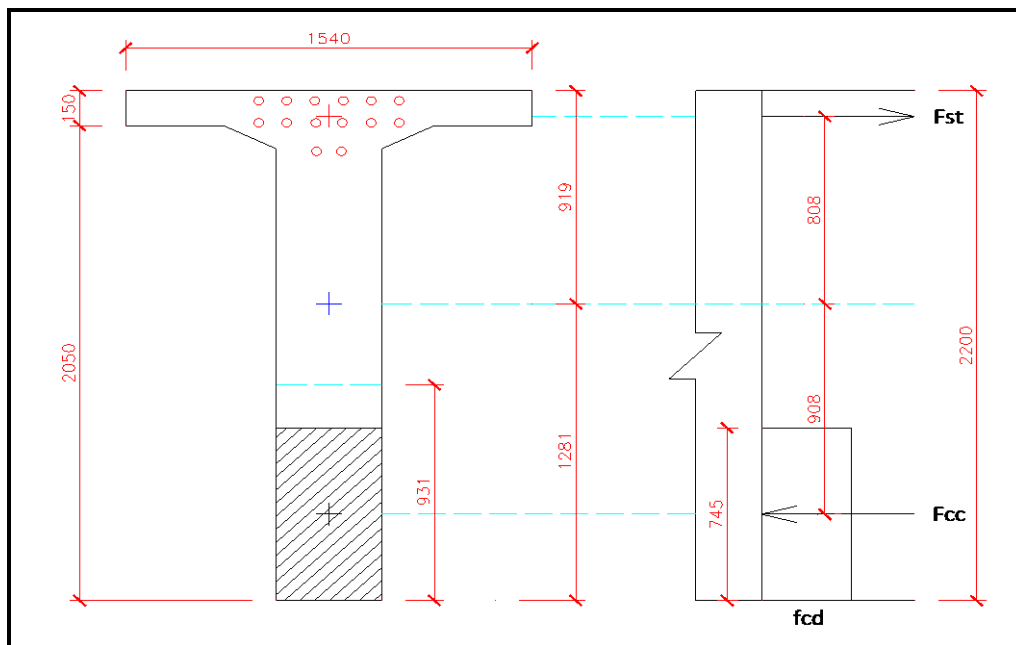


Obr. 57: Stanovení momentové únosnosti v průřezu v poli

b) nad podporou 2, 3

- mezní únosnost: $M_{Rd} = F_{cc} * z_{cc} + F_{st} * z_{st}$
- síla tlačného betonu: $F_{cc} = A_{cc} * \eta * f_{cd}$
- síla v tažené výztuži: $F_{st} = A_{st} * f_{yd}$
- použitá výztuž: $\phi 32 \text{ mm}$, počet prutů 14, $A_{st} = \underline{112,59 \text{ mm}^2}$
- plocha tlačného betonu: $A_{cc} = A_{st} * f_{yd} / (\eta * f_{cd})$
 $= 112,59 * 180 / (0,85 * 8,0) = \underline{0,30 \text{ m}^2}$

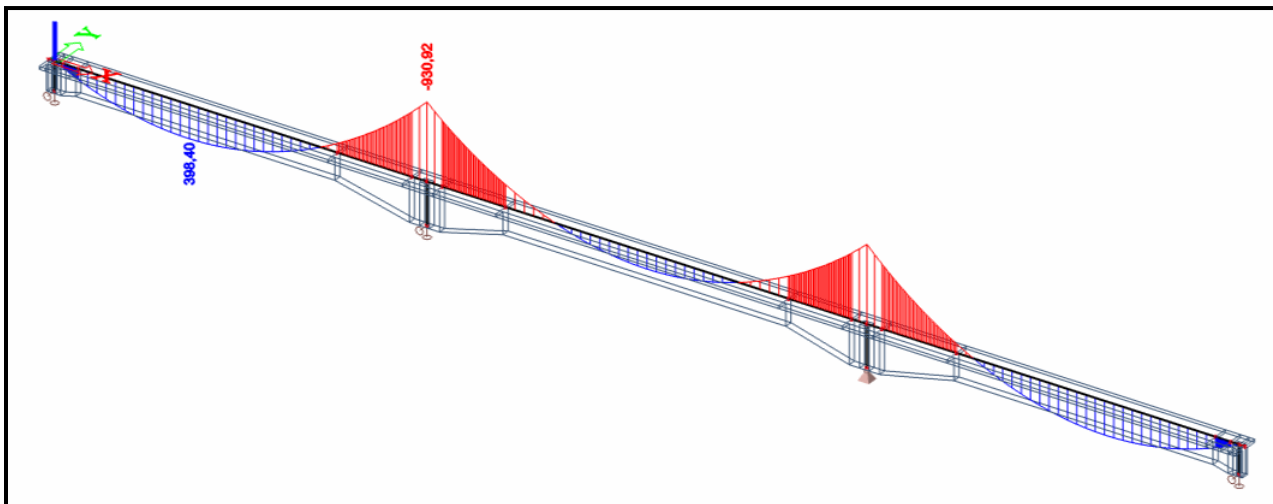
- výška tlačeného průřezu: $\lambda_x = Acc/b = 0,17/1,54 = \underline{0,745 \text{ m}}$
- poloha neutrálné osy: $x = 0,111/0,8 = \underline{0,931 \text{ m}}$
- rameno síly F_{cc} : $z_{cc} = \underline{0,908 \text{ m}}$
- rameno síly F_{st} : $z_{st} = \underline{0,808 \text{ m}}$
- $M_{Rd} = 0,30 \cdot 0,85 \cdot 8 \cdot 0,908 + 0,0112 \cdot 180 \cdot 0,808 = \underline{3478,8 \text{ kNm}}$



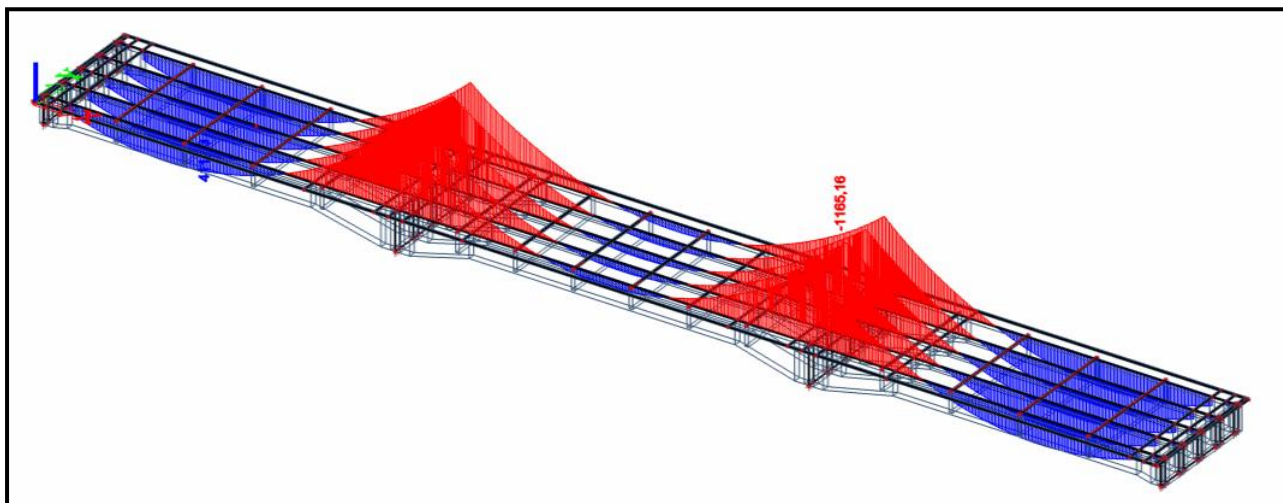
Obr. 58: Stanovení momentové únosnosti průřezu nad podporou

4.5.7 Výsledné hodnoty momentů působících na jeden trám

Hodnoty momentů byly získány aplikací zatěžovacích soustav z normy ČSN 73 6222 na 3D model. Vlastní tíha byla vygenerována automaticky, umístění jednotlivých vozidel bylo provedeno na základě příčinkových čar získaných ze zjednodušeného 2D modelu. V případě normální zatížitelnosti se podle změny normy nahrazuje přední náprava spojitým rovnoměrným zatížením. Dále pak je most zatížen pouze jedním vozidlem místo tří a spojitě rovnoměrné zatížení působí po celé délce i volné šířce mostu v závislosti na příčinkových čarách.



Obr. 59: Momenty na jednom trámu od vlastní tíhy z programu Scia Engineering



Obr. 60: Momenty na 3D modelu od vlastní tíhy z programu Scia Engineering

Pole č. 1 – charakteristické hodnoty

- vlastní tíha: $M_g = 330,3 \text{ kNm}$
- ostatní stálé: $M_{g1} = 173,4 \text{ kNm}$

- zatížitelnost normální ($V_a = 50 \text{ kN}$): $M_{q,3NV} = 251,9 \text{ kNm}$
- zatížitelnost normální ($V_a = 100 \text{ kN}$): $M_{q,2NV} = 264,7 \text{ kNm}$

- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,4NV} = 92,9 \text{ kNm}$
- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,3NV} = 135,3 \text{ kNm}$
- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,2NV} = 129,3 \text{ kNm}$

- zatížitelnost výjimečná ($V_{ew} = 140 \text{ kN}$): $M_{q,e} = 44,7 \text{ kNm}$

Pole č. 2 – charakteristické hodnoty

- vlastní tíha: $M_g = 122,6 \text{ kNm}$
- ostatní stálé: $M_{g1} = 53,3 \text{ kNm}$

- zatížitelnost normální ($V_a = 50 \text{ kN}$): $M_{q,3NV} = 257,1 \text{ kNm}$
- zatížitelnost normální ($V_a = 100 \text{ kN}$): $M_{q,2NV} = 268,1 \text{ kNm}$

- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,4NV} = 95,1 \text{ kNm}$
- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,3NV} = 141,9 \text{ kNm}$
- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,2NV} = 136,0 \text{ kNm}$

- zatížitelnost výjimečná ($V_{ew} = 140 \text{ kN}$): $M_{q,e} = 49,7 \text{ kNm}$

Podpora č. 3 – charakteristické hodnoty

- vlastní tíha: $M_g = 1163,6 \text{ kNm}$
- ostatní stálé: $M_{g1} = 590,0 \text{ kNm}$

- zatížitelnost normální ($V_a = 50 \text{ kN}$): $M_{q,3NV} = 353,3 \text{ kNm}$
- zatížitelnost normální ($V_a = 100 \text{ kN}$): $M_{q,2NV} = 353,8 \text{ kNm}$

- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,4NV} = 80,3 \text{ kNm}$
- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,3NV} = 105,6 \text{ kNm}$
- zatížitelnost výhradní ($V_{rw} = 100 \text{ kN}$): $M_{q,2NV} = 104,7 \text{ kNm}$

- zatížitelnost výjimečná ($V_{ew} = 140 \text{ kN}$): $M_{q,e} = 103,1 \text{ kNm}$

4.5.8 Dynamický součinitel δ

Dynamický součinitel zahrnuje účinky zatížení od dopravy. Stanoví se na základě vlastní frekvence mostní konstrukce, která závisí na náhradní délce mostu L_d . Hodnota se určí z grafu v normě ČSN 73 6222.

$$L_d = (19,675 + 23,25 + 19,675)/3 = 20,87 \text{ m (spojitý nosník)}$$

$$f = 90,6 \cdot L_d^{-0,923} = 90,6 \cdot 20,87^{-0,923} = 5,485 \text{ Hz}$$

- normální zatížitelnost: $\delta_2 = 1,24$
- výhradní zatížitelnost: $\delta_1 = 1,32$
- výjimečná zatížitelnost: $\delta = 1,05$

4.5.9 Výpočet zatížitelnosti

Výsledná zatížitelnost se v případě pole i podpory se násobí součinitelem α , který se odvíjí od klasifikačního stupně mostu. V tomto případě je most klasifikován stupněm 4, proto $\alpha = 0,8$.

Pole č. 1 – jeden trám

$$\text{a) } E_{da} = \gamma_{G,\text{sup}} * G_k + \psi_{01} * \gamma_Q * Q_k$$

$$M_{Rd} = M_{Eda} = 1,35 \cdot (330,3 + 173,4) + 0,75 \cdot 1,35 \cdot \delta * M_{q,a} = 1341,1 \text{ kNm}$$
$$\rightarrow \underline{\delta * M_{q,a} = 652,9 \text{ kNm}}$$

$$\text{b) } E_{db} = \zeta * \gamma_{G,\text{sup}} * G_k + \gamma_Q * Q_k$$

$$M_{Rd} = M_{Edb} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (330,3 + 173,4) + 1,35 \cdot \delta * M_{q,b} = 1341,3 \text{ kNm}$$
$$\rightarrow \underline{\delta * M_{q,b} = 565,3 \text{ kNm}}$$

Rozhoduje varianta b), tedy $M_{q,b} = 565,3 \text{ kNm}$

• Normální zatížitelnost

Zatěžovací schéma 3NV:

$$\delta * M_{q,b} = \delta_2 * M_{q,3NV}$$

$$565,3 = 1,24 \cdot 251,9 \quad v_n = 312,4 \quad v_n \text{ kNm} \quad \rightarrow \quad v_n = 1,809 \text{ kNm}^{-2}$$

$$V_a = 100 \cdot v_n \cdot \alpha = 100 \cdot 1,809 \cdot 0,8 = 144,8 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = 4/3 \cdot V_a = 4/3 \cdot 144,8 = 193,1 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad V_n = 19 \text{ t}$$

- **Výhradní zatížitelnost**

Zatěžovací schéma 4NV:

$$\delta * M_{q,b} = \delta_1 * M_{q,4NV}$$

$$\delta * M_{q,b} = 1,32 * 92,9 / 100 = 1,226 \text{ kNm/kN}$$

$$565,3 = 1,226 * V_{rw} \rightarrow V_{rw} / \alpha = 461,1 \text{ kN} \rightarrow V_{rw} = 368,8 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_r = 36 \text{ t}$$

- **Výjimečná zatížitelnost**

Zvláštní souprava:

$$\delta * M_{q,b} = \delta * M_{q,e}$$

$$\delta * M_{q,b} = 1,05 * 44,7 / 140 = 0,335 \text{ kNm/kN}$$

$$565,3 = 0,335 * V_{rw} \rightarrow V_{rw} / \alpha = 1687,4 \text{ kN} \rightarrow V_{rw} = 1349,9 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_r = 134 \text{ t}$$

Pole č. 2 – jeden trám

a) $E_{da} = \gamma_{G,sup} * G_k + \psi_{01} * \gamma_Q * Q_k$

$$M_{Rd} = M_{Eda} = 1,35 * (122,6 + 53,3) + 0,75 * 1,35 * \delta * M_{q,a} = 1341,1 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow \underline{\delta * M_{q,a} = 1090,0 \text{ kNm}}$$

b) $E_{db} = \zeta * \gamma_{G,sup} * G_k + \gamma_Q * Q_k$

$$M_{Rd} = M_{Edb} = 0,85 * 1,35 * (122,6 + 53,3) + 1,35 * \delta * M_{q,b} = 1341,1 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow \underline{\delta * M_{q,b} = 843,9 \text{ kNm}}$$

Rozhoduje varianta b), tedy $M_{q,b} = 843,9 \text{ kNm}$

- **Normální zatížitelnost**

Zatěžovací schéma 3NV:

$$\delta * M_{q,b} = \delta_2 * M_{q,3NV}$$

$$843,9 = 1,24 * 257,1 \text{ } v_n = 318,8 \text{ } v_n \text{ kNm} \rightarrow v_n = 2,647 \text{ kNm}^{-2}$$

$$V_a = 100 * v_n * \alpha = 100 * 2,647 * 0,8 = 211,7 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = 4/3 * V_a = 4/3 * 211,7 = 282,2 \text{ kN} \rightarrow V_n = 28 \text{ t}$$

- **Výhradní zatížitelnost**

Zatěžovací schéma 4NV:

$$\delta * M_{q,b} = \delta_1 * M_{q,4NV}$$

$$\delta * M_{q,b} = 1,32 * 95,1 / 100 = 1,255 \text{ kNm/kN}$$

$$843,9 = 1,255 * V_{rw} \rightarrow V_{rw} / \alpha = 672,4 \text{ kN} \rightarrow V_{rw} = 537,9 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_r = \mathbf{53 \text{ t}}$$

- **Výjimečná zatížitelnost**

Zvláštní souprava:

$$\delta * M_{q,b} = \delta * M_{q,e}$$

$$\delta * M_{q,b} = 1,05 * 49,7 / 140 = 0,373 \text{ kNm/kN}$$

$$843,9 = 0,373 * V_{rw} \rightarrow V_{rw} / \alpha = 2262,4 \text{ kN} \rightarrow V_{rw} = 1809,9 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_r = \mathbf{180 \text{ t}}$$

Podpora č. 3 – jeden trám

a) $E_{da} = \gamma_{G,sup} * G_k + \psi_{01} * \gamma_Q * Q_k$

$$M_{Rd} = M_{Eda} = 1,35 * (1163,6 + 590) + 0,75 * 1,35 * \delta * M_{q,a} = 3478,8 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow \underline{\delta * M_{q,a} = 1097,7 \text{ kNm}}$$

b) $E_{db} = \zeta * \gamma_{G,sup} * G_k + \gamma_Q * Q_k$

$$M_{Rd} = M_{Edb} = 0,85 * 1,35 * (1163,6 + 590) + 1,35 * \delta * M_{q,b} = 3478,8 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow \underline{\delta * M_{q,b} = 1086,3 \text{ kNm}}$$

Rozhoduje varianta b), tedy $M_{q,b} = \mathbf{1086,3 \text{ kNm}}$

- **Normální zatížitelnost**

Zatěžovací schéma 3NV:

$$\delta * M_{q,b} = \delta_2 * M_{q,3NV}$$

$$1086,3 = 1,24 * 353,8 v_n = 438,7 v_n \text{ kNm} \rightarrow v_n = 2,476 \text{ kNm}^{-2}$$

$$V_a = 100 * v_n * \alpha = 100 * 2,476 * 0,8 = 198,1 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = 4/3 * V_a = 4/3 * 198,1 = 264,1 \text{ kN} \rightarrow V_n = \mathbf{26 \text{ t}}$$

- **Výhradní zatížitelnost**

Zatěžovací schéma 4NV:

$$\delta * M_{q,b} = \delta_1 * M_{q,4NV}$$

$$\delta * M_{q,b} = 1,32 * 80,3 / 100 = 1,060 \text{ kNm/kN}$$

$$1086,3 = 1,060 * V_{rw} \rightarrow V_{rw} / \alpha = 1024,8 \text{ kN} \rightarrow V_{rw} = 819,8 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_r = \mathbf{81 \text{ t}}$$

- **Výjimečná zatížitelnost**

Zvláštní souprava:

$$\delta * M_{q,b} = \delta * M_{q,e}$$

$$\delta * M_{q,4NV} = 1,05 * 103,1 / 140 = 0,773 \text{ kNm/kN}$$

$$1086,3 = 0,773 * V_{rw} \rightarrow V_{rw} / \alpha = 1405,3 \text{ kN} \rightarrow V_{rw} = 1124,2 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_r = \mathbf{112 \text{ t}}$$

4.5.10 Zatížitelnost mostu

Výsledné hodnoty byly stanoveny na nejvíce namáhaném trámu, od kterého se odvíjí celková zatížitelnost mostu v konkrétním řezu. Most byl posuzován ve třech kritických řezech, z nichž rozhoduje vždy ten s nejnižší zatížitelností.

- Normální zatížitelnost: $V_n = \mathbf{19 \text{ tun}}$ (pole č. 1)
- Výhradní zatížitelnost: $V_r = \mathbf{36 \text{ tun}}$ (pole č. 1)
- Výjimečná zatížitelnost: $V_e = \mathbf{112 \text{ tun}}$ (podpora č. 3)

5 Závěr

Závěr je rozdělen na 3 části, a sice na vyhodnocení prohlídky mostu, shrnutí diagnostiky a stanovení zatížitelnosti.

Prohlídka mostu

Spodní stavba nevykazuje poruchy, které by měly vliv na únosnost nebo použitelnost mostu. Nachází se zde velká trhлина v opěře č. 4 a porušená vazba křídla u opěry č. 1. Tyto poruchy by měly být opraveny.

Nosná konstrukce vykazuje místa s nedostatečnou tloušťkou krycí vrstvy a korodující výztuží. Převážně jsou to místa u spodních líců krajních trámů a krajní příčníky. Tato místa by měla být včasné opravena, aby se zabránilo dalšímu šíření koroze, s čímž souvisí množství vynaložených finančních prostředků.

Uložení mostu na všech vnějších stranách a mostní závěry jsou ve velmi špatném stavu, který je třeba opět rychle řešit. Úložné prahy jsou zanesené vyplaveným betonem z nosné konstrukce a závěrné zdi. Funkčnost krajních ložisek a závěrů je prakticky znemožněna.

Odvodnění celého mostu je v kritickém stavu a je třeba provést okamžitou opravu, neodvedená voda je příčinou většiny výše uvedených poruch.

Diagnostika

Výsledkem provedených zkoušek jsou dvě hodnoty pevnosti betonu v tlaku. Mostovková deska je výrazně mladší, tedy i její pevnost je vyšší.

- Pevnost trámů a příčníků: pevnostní třída **C 12/15**
- Pevnost mostovkou desky: pevnostní třída **C 30/37**

Radiografickými zkouškami doplněnými sekanými sondami byla ověřena projektovaná výztuž při dolních lících trámů.

- Podélná výztuž: **hladká, 8 ϕ 32 ve dvou řadách**
- Smyková výztuž: **ocelové pásy 20 x 5 mm po 300 mm**

Výsledky ovšem nejsou zcela průkazné, protože hlavně díky omezeným finančním prostředkům nebyl proveden dostatečný počet zkoušek požadovaný normami.

Chemickou analýzou byla zjištěna **karbonatace trámů a příčníků** obecně ve větších hloubkách než **50 mm**, krajní trámy jsou dále zasaženy zvýšeným obsahem chloridových iontů. Tyto faktory nepříznivě ovlivňují ochranu výztuže proti korozi. Krycí vrstva má také velmi malou tloušťku a beton u spodních liců vykazuje zhoršenou kvalitu, zřejmě díky špatnému hutnění.

Stanovení zatížitelnosti mostu

Statickým výpočtem provedeným na základě údajů ze zkoušek byly stanoveny následující hodnoty zatížitelnosti:

- Normální zatížitelnost: **$V_n = 19 \text{ tun}$**
- Výhradní zatížitelnost: **$V_r = 36 \text{ tun}$**
- Výjimečná zatížitelnost: **$V_e = 112 \text{ tun}$**

Vypočtené hodnoty jsou **nižší** než údaje uvedené v mostním listě v případě zatížitelnosti normální o **6 tun**, výhradní o **10 tun** a výjimečné o **8 tun**. Rozdíly mohou být způsobeny odlišnými vstupními parametry pro výpočet a použitím jiných (starších) předpisů.

K efektivnímu zvýšení zatížitelnosti by bylo třeba provést důkladnější diagnostiku, přepočet s přesnějšími daty a především opravit všechny zmíněné poruchy. Poté se mohou navrhnout předpokládaná opatření (spřažená deska, dodatečné předpětí).

6 Použitá literatura a odkazy

6.1 Citované zdroje

- [1] ČSN 73 1376. Radiografie betonových konstrukcí a dílců. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1977. 27 s.
- [2] ČSN EN 12504-2. *Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 8 s.
- [3] ČSN ISO 13822. *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 72 s.
- [4] HOBST, L, et al. *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005. 124 s.
- [5] ŽÍTT, P, et al. *Zpráva o provedené diagnostice mostní konstrukce, most ev. č. 46-057 za obcí Bílčice u Opavy*. VUT Brno, 2012. 29 s.

6.2 Seznam použitých a souvisejících norem

- [6] ČSN 72 0100 Základní postup rozboru silikátů. Všeobecná ustanovení, 1984
- [7] ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí, 2012
- [8] ČSN 73 2030 Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí. Společná ustanovení, 1994
- [9] ČSN 73 6209 Zatěžovací zkoušky mostů, 1996
- [10] ČSN 73 6220 Evidence mostních objektů pozemních komunikací, 2011
- [11] ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací, 2011
- [12] ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací, 2009
- [13] ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích, 2007
- [14] ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetření zkušebních těles pro zkoušky pevnosti, 2009
- [15] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, 2009

- [16] ČSN EN 12390-4 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 4: Pevnost v tlaku – požadavky na zkušební lisy, 2001
- [17] ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu
- [18] ČSN EN 12504-1 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku, 2009
- [19] ČSN EN 12504-4 Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti impulsu ultrazvukového šíření, 2005
- [20] ČSN EN 206-1 Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, 2001
- [21] TP 200 Stanovení zatížitelnosti mostů PK navržených podle norem a předpisů platných před účinností EN: Technické podmínky, 2009
- [22] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 2006

6.3 Seznam obrázků

Obr. 1: Mapa se zakreslením mostu.....	15
Obr. 2: Členění nosné konstrukce v poli č. 2 a podpěra č. 2	16
Obr. 3: Pohled na mostní svršek	17
Obr. 4: Seskupení I, $2,5\text{ m} < b_f < 5,5\text{ m}$	19
Obr. 5: Seskupení I, $b_f > 5,5\text{ m}$	19
Obr. 6: Schéma vozidel normální (výhradní) zatížitelnosti	20
Obr. 7: Zatěžovací schéma čtyřnápravového vozidla	20
Obr. 8: Zatěžovací schéma soupravy při výjimečném zatížení	21
Obr. 9: Snímkování trámu do šířky 250 mm	25
Obr. 10: Snímkování trámu šířky nad 250 mm	25
Obr. 11: Trhlina v opěře č. 4.....	32
Obr. 12: Rozpad kamenného zdiva podpěry č. 3	33
Obr. 13: Narušená vazba mostního křídla opěry č. 1.....	33
Obr. 14: Korodující výztuž krajního trámu na povodní straně	34
Obr. 15: Degradace krycích vrstev krajního trámu, koroze výztuže	35
Obr. 16: Pohled na opěru č. 1, koroze výztuže	36
Obr. 17: Krajní trám opěry č. 1, vymílání betonu.....	36
Obr. 18: Stolicové přímkové ložisko vnitřních podpěr.....	37

Obr. 19: Krajní ložisko opěry č. 4	38
Obr. 20: Mostní závěr a obnažená korodující kotvená výztuž	38
Obr. 21: Mostní závěr opěry č. 1	39
Obr. 22: Dopravní značení mostu	40
Obr. 23: Neodvedená voda na mostním svršku	41
Obr. 24: Zkorodované odvodňovací potrubí na povodní straně	41
Obr. 25: Napojení svislého a vodorovného potrubí	41
Obr. 26: Jádrový vývrt V3	45
Obr. 27: Jádrový vývrt V9	46
Obr. 28: Schéma zkušebních míst jádrových vývrtů	46
Obr. 29: Radiografický uranové kryt TECH/OPS, model 741	47
Obr. 30: Sekaná sonda průřezu R1	50
Obr. 31: Sekaná sonda průřezu R2	50
Obr. 32: Vyhodnocení radiogramu průřezu R1	51
Obr. 33: Radiogram průřezu R2, zářič umístěn nad bodem X2	51
Obr. 34: Složení radiogramů průřezu R2, zářiče umístěny nad body A, B	51
Obr. 35: Vyhodnocení radiogramu průřezu R2	51
Obr. 36: Vývrt z desky	53
Obr. 37: Vývrt z trámu	53
Obr. 38: Vývrt z trámu	53
Obr. 39: Schematický příčný řez	54
Obr. 40: Schematický půdorys a podélný řez	54
Obr. 41: Zatěžovací schéma třínápravového a dvounápravového vozidla	56
Obr. 42: Šířkové umístění vozidel na vozovce	56
Obr. 43: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů	57
Obr. 44: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů	57
Obr. 45: Šířkové umístění vozidel	58
Obr. 46: Zatěžovací schéma čtyřnápravového vozidla	58
Obr. 47: Zatěžovací schéma třínápravového a dvounápravového vozidla	58
Obr. 48: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů	59
Obr. 49: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů	59
Obr. 50: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů	60
Obr. 51: Zatěžovací schéma zvláštní soupravy	60
Obr. 52: Šířkové umístění vozidel	60

Obr. 53: Umístění pohyblivého zatížení ke stanovení maximálních ohybových momentů	61
Obr. 54: Definice l_0 pro výpočet spolupůsobící šířky desky	61
Obr. 55: Parametry pro spolupůsobící šířku desky	62
Obr. 56: 3D model mostu sestavený v programu Scia Engineering	62
Obr. 57: Stanovení momentové únosnosti v průřezu v poli	63
Obr. 58: Stanovení momentové únosnosti průřezu nad podporou.....	64
Obr. 59: Momenty na jednom trámu od vlastní tíhy z programu Scia Engineering	65
Obr. 60: Momenty na 3D modelu od vlastní tíhy z programu Scia Engineering	65

6.4 Seznam tabulek

Tab. 1: Minimální počet zkušebních míst podle objemu betonu konstrukce	22
Tab. 2: Hodnoty max. variačního součinitele V_x a rozdílu na sousedních místech Δ	28
Tab. 3: Vyhodnocení chemických zkoušek	52

6.5 Seznam příloh

Příloha č. 1: Stanovení krychelné pevnosti trámů, příčníků a desky z jádrových vývrtů
Příloha č. 2: Stanovení krychelné pevnosti trámů, příčníků z tvrdoměrných zkoušek
Příloha č. 3: Stanovení krychelné pevnosti mostovkové desky z tvrdoměrných zkoušek
Příloha č. 4: Hodnoty momentů od zatížení pohyblivých a ostatního stálého
Příloha č. 5: Původní příčný řez s výztuží, M 1:30
Příloha č. 6: Podélný řez A-A', M 1:200
Příloha č. 7: Půdorys, M 1:200
Příloha č. 8: Příčný řez B-B', M 1:50
Příloha č. 9: Příčný řez C-C', M 1:50

Příloha č. 1

Trámy a příčníky														
označení vývrtu	délka vývrtu	zkušební tělesa	průměr	délka	hmotnost	objemová hmotnost	síla	pevnost	štíhlost	koef. štíhlosti	koef. průměru	válcová pevnost	přev. souč.	krychelná pevnost
	h [mm]													
V1A	175	1a	73,96	78,58	677,4	2007	70,7	16,5	1,062	0,870	0,929	13,3	1,25	16,6
V1B	209	1b	73,78	76,38	675,3	2068	76,1	17,8	1,035	0,862	0,929	14,3	1,25	17,8
V2	280	2a	73,97	77,96	830,9	2480	92,3	21,5	1,054	0,867	0,929	17,3	1,25	21,6
		2b	73,89	78,17	825,2	2462	97,9	22,8	1,058	0,868	0,929	18,4	1,25	23,0
		2c	74,04	77,15	818,8	2465	95,1	22,1	1,042	0,864	0,929	17,7	1,25	22,2
V3	280	3a	73,95	77,87	835,3	2498	122,6	28,5	1,053	0,867	0,929	23,0	1,25	28,7
		3b	74,03	78,02	813,4	2422	126,6	29,4	1,054	0,867	0,929	23,7	1,25	29,6
		3c	73,99	77,01	814,2	2459	139,3	32,4	1,041	0,864	0,929	26,0	1,2	31,2
V4	200	4a	73,93	78,22	840,8	2504	138,4	32,2	1,058	0,868	0,929	26,0	1,2	31,2
		4b	73,89	77,96	803,1	2402	98,3	22,9	1,055	0,868	0,929	18,5	1,25	23,1
V5	200	5a	73,85	76,85	782,7	2378	73,7	17,2	1,041	0,864	0,929	13,8	1,25	17,3
		5b	73,81	78,21	843,0	2519	76,0	17,8	1,060	0,869	0,929	14,3	1,25	17,9
V7	220	7a	73,95	78,18	793,4	2363	115,2	26,8	1,057	0,868	0,929	21,6	1,25	27,0
		7b	73,93	78,3	796,5	2370	103,1	24,0	1,059	0,869	0,929	19,4	1,25	24,2
V8	290	8a	73,98	78,4	784,9	2329	116,3	27,1	1,060	0,869	0,929	21,8	1,25	27,3
		8b	73,97	78,24	800	2379	107,3	25,0	1,058	0,868	0,929	20,1	1,25	25,2
		8c	73,95	78,15	799,8	2383	123,1	28,7	1,057	0,868	0,929	23,1	1,25	28,9
Mostovková deska														
označení vývrtu	délka vývrtu	zkušební tělesa	průměr	délka	hmotnost	objemová hmotnost	síla	pevnost	štíhlost	koef. štíhlosti	koef. průměru	válcová pevnost	přev. souč.	krychelná pevnost
	h [mm]													
	V6	170	6a	73,99	78,16	843,2	2509	218,1	50,7	1,056	0,868	0,929	40,9	1,15
V9	160	6b	74	78,15	845,5	2516	221,5	51,5	1,056	0,868	0,929	41,5	1,15	47,8
		9a	73,91	78,09	850,9	2540	231,8	54,0	1,057	0,868	0,929	43,6	1,15	50,1

Stanovení krychelné pevnosti trámů dle ČSN EN 13822			
veličina	označení	hodnota	jednotka
Střední hodnota pevnosti	m_x	24,3	[MPa]
Počet platných hodnot	n	17	[-]
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	4,93	[MPa]
Variační součinitel	V_x	20,27	[%]
Součinitel odhadu 5 % kvantilu	k_n	1,8	[-]
Charakt. pevnost betonu v tlaku	$f_{c,cube}$	15,4	[MPa]
Stanovení krychelné pevnosti trámů dle ČSN EN 13791			
Charakt. pevnost betonu v tlaku $f_{ck,is}$	$f_{m(n),is} - 1,48s$	16,9	[MPa]
	$f_{is,lower} + 4$	20,6	[MPa]
Vyhodnocení dle ČSN EN 13822			
třída betonu dle:	označení		
ČSN EN 206-1	C 12/15		
ČSN 73 1201: 1986	B 15		
ČSN 73 2001: 1956	170		
ČSN 1090: 1931	e		

Stanovení krychelné pevnosti desky dle ČSN EN 13822			
veličina	označení	hodnota	jednotka
Střední hodnota pevnosti	m_x	48,3	[MPa]
Počet platných hodnot	n	3	[-]
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	1,60	[MPa]
Variační součinitel	V_x	3,32	[%]
Součinitel odhadu 5 % kvantilu	k_n	1,89	[-]
Charakt. pevnost betonu v tlaku	$f_{c,cube}$	45,3	[MPa]
Stanovení krychelné pevnosti desky dle ČSN EN 13822			
Charakt. pevnost betonu v tlaku $f_{ck,is}$	$f_{m(n),is} - 1,48s$	46,4	[MPa]
	$f_{is,lower} + 4$	51,0	[MPa]
Vyhodnocení dle ČSN EN 13822			
třída betonu dle:	označení		
ČSN EN 206-1	C 35/45		
ČSN 73 1201: 1986	B 45		
ČSN 73 2001: 1956	500		

Příloha č. 2

Trámy a příčky																												
označení	směr	číslo odrazu																		Počet čtení	Meze		Průměrná míra odrazu	Plátvé hodnoty	Tvrđost	Pevnost dle křivky		výsledná pevnost
		n										n	R'	R'-6	R+6	n	R	[MPa]	[MPa]									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																	
1	↑	48	48	50	46	45	46	46	46	50	46	41	20	46,6	40,6	52,6	20	43	40	48	28							
		48	48	50	46	45	46	46	46	50	46	41																
		46	38	51	46	42	39	42	45	42	38																	
2	↑	46	38	-	46	42	39	42	45	42	38	19	42,5	36,5	48,5	19	43	40	20	20								
		38	42	42	47	46	36	40	43	44	43																	
		38	42	42	47	46	36	40	43	44	43																	
3	↑	48	46	49	54	50	51	48	46	43	52	20	48,7	42,7	54,7	20	49	50	30	30								
		48	46	49	54	50	51	48	46	43	52																	
		36	43	44	40	41	40	48	43	45	42																	
4	↑	36	43	44	40	41	40	48	43	45	42	20	42,2	36,2	48,2	18	43	40	20	20								
		54	48	44	48	50	51	46	50	48	49																	
		54	48	44	48	50	51	46	50	48	49																	
5	↑	50	52	48	42	45	53	50	52	48	56	19	50	44	56	20	50	52	32	32								
		50	52	48	-	45	53	50	52	48	56																	
		48	50	46	51	53	48	46	50	46	46																	
6	↑	48	50	46	51	53	48	46	50	46	46	20	48,4	42,4	54,4	20	49	50	30	30								
		48	50	46	51	53	48	46	50	46	46																	
		36	38	35	38	36	42	36	42	38	42																	
7	↑	36	38	35	38	36	42	36	42	38	42	20	38,3	32,3	44,3	20	39	33	13	13								
		36	38	35	38	36	42	36	42	38	42																	
		43	40	38	44	44	42	38	40	42	38																	
8	↑	43	40	38	44	44	42	38	40	42	38	20	40,9	34,9	46,9	20	41	36	16	16								
		36	38	39	40	40	38	35	43	40	44																	
		36	38	39	40	40	38	35	43	40	44																	
9	↑	50	48	49	42	41	50	42	41	39	40	20	44,2	38,2	50,2	20	45	43	23	23								
		50	48	49	42	41	50	42	41	39	40																	
		44	48	44	44	40	42	45	46	46	40																	
10	↑	44	48	44	44	40	42	45	46	46	40	20	43,9	37,9	49,9	20	44	42	22	22								
		44	48	44	44	40	42	45	46	46	40																	
		41	44	44	35	36	38	40	41	40	33																	
11	↑	41	44	44	35	36	38	40	41	40	33	20	39,2	33,2	45,2	20	40	35	15	15								
		41	44	44	35	36	38	40	41	40	33																	
		46	46	43	44	40	40	41	43	38	40																	
12	↑	46	46	43	44	40	40	41	43	38	40	20	42,1	36,1	48,1	20	43	40	20	20								
		46	46	43	44	40	40	41	43	38	40																	
		50	48	46	42	44	40	51	50	46	46																	
13	↑	50	48	46	42	44	40	51	50	46	46	20	46,3	40,3	52,3	20	47	48	28	28								
		50	48	46	42	44	40	51	50	46	46																	
		40	41	44	40	38	40	43	33	44	38																	
14	↑	40	41	44	40	38	40	43	33	44	38	19	40,5	34,5	46,5	18	41	36	16	16								
		40	41	44	40	38	40	43	-	44	38																	
		46	40	41	42	40	40	34	38	34	32																	
15	↑	-	40	41	42	40	40	34	38	34	-	18	38,7	32,7	44,7	16	39	33	13	13								
		40	38	39	40	36	38	42	43	40	39																	
		40	38	39	40	36	38	42	43	40	39																	
16	↑	50	48	49	42	56	50	52	50	46	40	18	48,3	42,3	54,3	14	-	-	-	-								
		50	48	49	42	-	50	52	50	46	40																	
		42	34	42	38	36	38	44	40	38	38																	
17	↑	42	34	42	38	36	38	44	40	38	38	20	39	33	45	20	39	33	13	13								
		42	34	42	38	36	38	44	40	38	38																	
		39	30	36	38	40	51	44	34	40	46																	
18	↑	39	-	36	38	40	-	44	34	40	46	18	39,7	33,7	45,7	14	-	-	-	-								
		39	-	36	38	40	-	44	34	40	46																	
		46	46	43	44	45	46	48	48	40	41																	
19	↑	46	46	43	44	45	46	48	48	40	41	20	44,7	38,7	50,7	20	45	43	23	23								
		46	46	43	44	45	46	48	48	40	41																	
		41	46	40	38	36	42	40	46	41	42																	
20	↑	41	46	40	38	36	42	40	46	41	42	20	41,2	35,2	47,2	20	42	39	19	19								
		41	46	40	38	36	42	40	46	41	42																	
		41	46	40	38	36	42	40	46	41	42																	

Vyhodnocení tvrdoměrných zkoušek trámů a příčníků dle ČSN EN 13791 - kalibrace								
zkušební těleso	zkušební místo	Pevnost na vývrtech	Tvrdost	Pevnost dle křivky	Rozdíl fis-fr	Průměr rozdílů	Směr. odch. rozdílů	Posun křivky
		f_{is}	R	f_R	δf	$\delta f_{m(n)}$	s	Δf
V1A	1	16,5	38	32	-15,5	-16,1	2,96	-20,45
V2	2	21,5	43	40	-18,5			
	3	22,8	43	40	-17,2			
	4	22,1	41	36	-13,9			
V3	5	28,5	43	40	-11,5			
	6	29,4	49	50	-20,6			
	7	32,4	50	52	-19,6			
V4	8	32,2	49	50	-17,8			
	9	22,9	41	36	-13,1			
V5	10	17,2	39	33	-15,8			
	11	17,8	40	35	-17,2			
V7	12	26,8	45	43	-16,2			
	13	24,0	44	42	-18,0			
V8	14	27,1	43	40	-12,9			
	15	25,0	45	35	-10,0			
	16	28,7	47	48	-19,3			

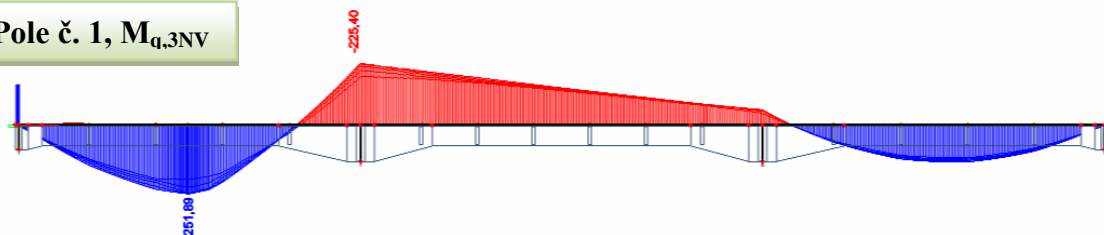
Stanovení krychelné pevnosti trámů a příčníků dle ČSN EN 13822			
veličina	označení	hodnota	jednotka
Střední hodnota pevnosti	m_x	20,5	[MPa]
Počet platných hodnot	n	22	[-]
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	6,28	[MPa]
Variační součinitel	V_x	30,64	[%]
Součinitel odhadu 5 % kvantilu	k_n	1,755	[-]
Charakt. pevnost betonu v tlaku	$f_{c,cube}$	9,5	[MPa]
Stanovení krychelné pevnosti trámů a příčníků dle ČSN EN 13791			
$f_{ck,is}$	$f_{m(n),is} - 1,48s$	11,4	[MPa]
	$f_{is,lower} + 4$	16,5	[MPa]
Vyhodnocení dle ČSN EN 13822			
třída betonu dle:	označení		
ČSN EN 206-1	C 8/10		
ČSN 73 1201: 1986	B 10		
ČSN 73 2001: 1956	135		
ČSN 1090: 1931	d		

Vyhodnocení tvrdoměrných zkoušek dle ČSN EN 13791 - kalibrace								
zkušební těleso	zkušební místo	Pevnost na vývrtech	Tvrdost	Pevnost dle křivky	Rozdíl fis-fr	Průměr rozdílů	Směr. odch. rozdílů	Posun křivky
		f_{is}	R	f_R	δf	$\delta f_{m(n)}$	s	Δf
V6	6a	50,7	49	50	0,7	-1,9	2,34	-5,83
	6b	51,5	51	53	-1,5			
V9	9a	54,0	54	59	-5,0			

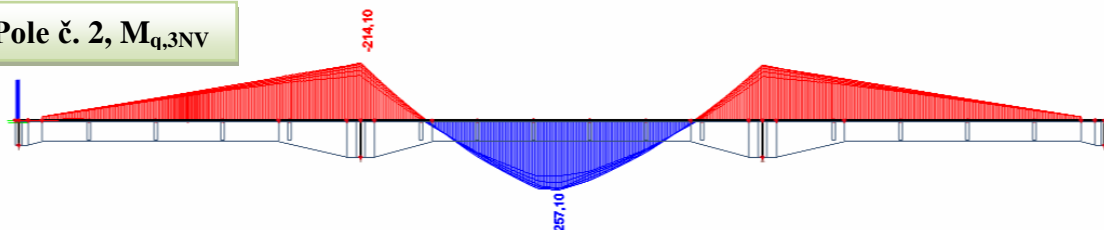
Stanovení krychelné pevnosti desky dle ČSN EN 13822			
veličina	označení	hodnota	jednotka
Sřední hodnota pevnosti	m_x	46,9	[MPa]
Počet platných hodnot	n	8	[-]
Výběrová směrodatná odchylka	s_x	4,53	[MPa]
Variační součinitel	V_x	9,65	[%]
Součinitel odhadu 5 % kvantilu	k_n	3,37	[-]
Charakt. pevnost betonu v tlaku	$f_{c,cube}$	31,7	[MPa]
Stanovení krychelné pevnosti desky dle ČSN EN 13791			
$f_{ck,is}$	$f_{m(n),is} - 1,48s$	40,7	[MPa]
	$f_{is,lower} + 4$	46,2	[MPa]
Vyhodnocení dle ČSN EN 13822			
třída betonu dle:	označení		
ČSN EN 206-1	C 30/37		
ČSN 73 1201: 1986	B 40		
ČSN 73 2001: 1956	400		

Příloha č. 4

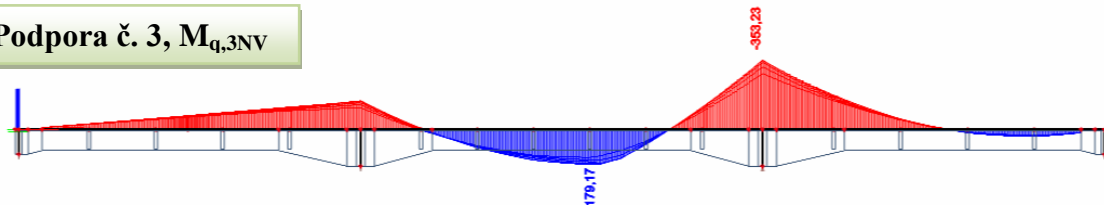
Pole č. 1, $M_{q,3NV}$



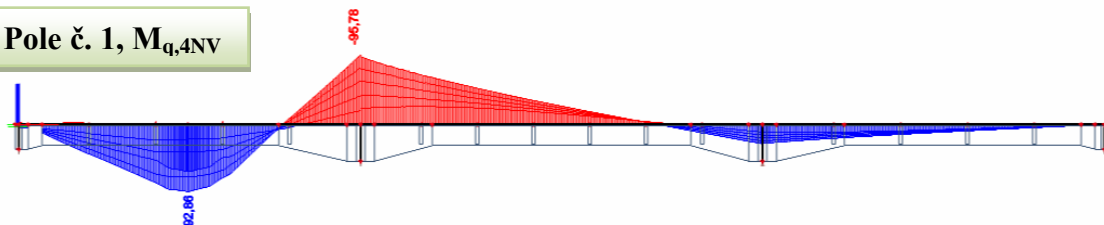
Pole č. 2, $M_{q,3NV}$



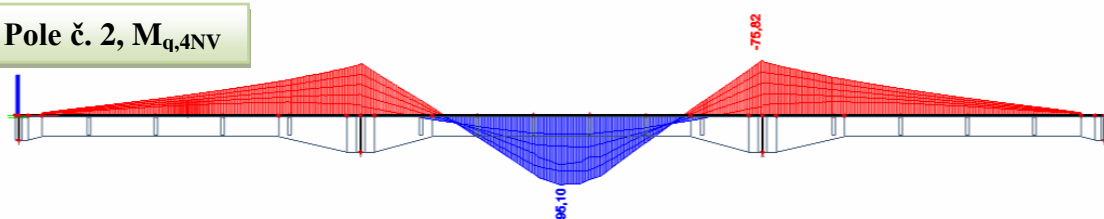
Podpora č. 3, $M_{q,3NV}$



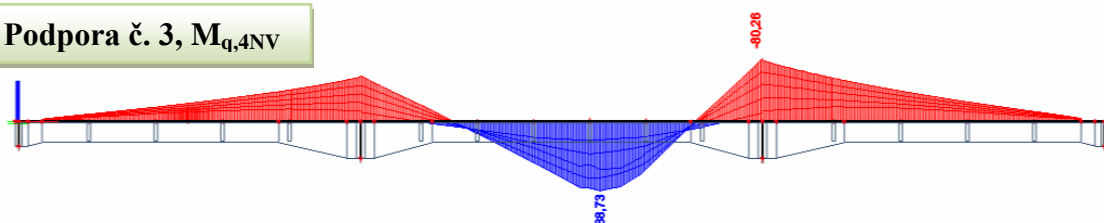
Pole č. 1, $M_{q,4NV}$



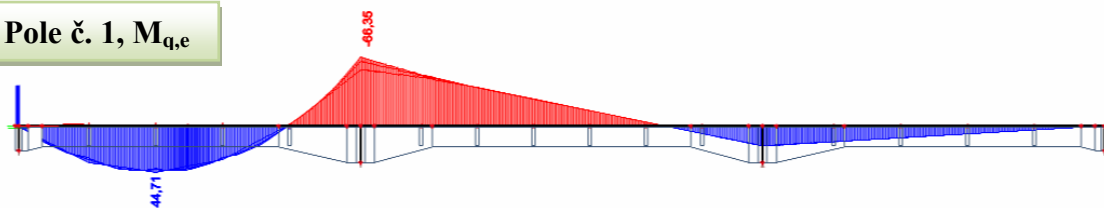
Pole č. 2, $M_{q,4NV}$



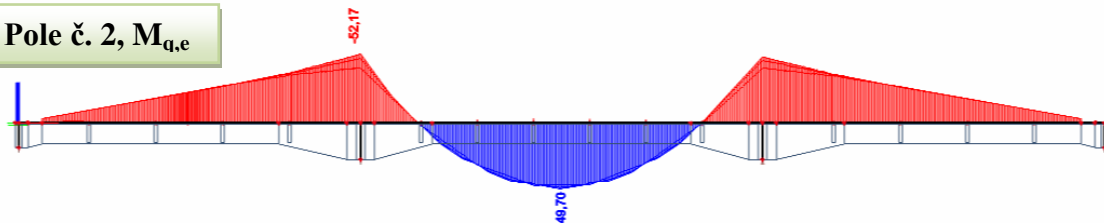
Podpora č. 3, $M_{q,4NV}$



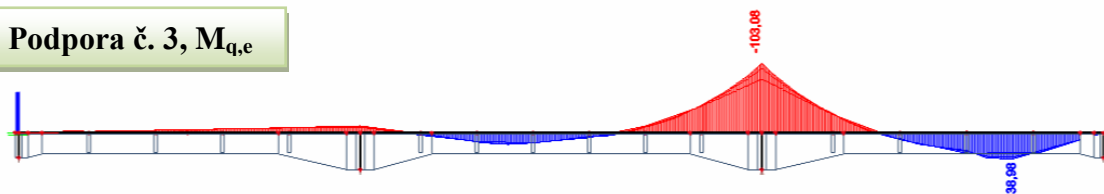
Pole č. 1, $M_{q,e}$



Pole č. 2, $M_{q,e}$



Podpora č. 3, $M_{q,e}$



Ostatní stálé

